

**REINGENIERÍA DE SIMULADOR HIDROLÓGICO ORIENTADO
AL ANÁLISIS PREDICTIVO DE INUNDACIONES.**

Autor: Cristian Guerrero Córdova
Directores: Sergio Masuelli, Javier Proyector

Trabajo Especial de Licenciatura en Ciencias de la Computación

22 de mayo de 2013

Facultad de Matemática, Astronomía y Física
Universidad Nacional de Córdoba
Argentina

Abstract

La cantidad creciente de aplicaciones de las imágenes satelitales y la integración de estas aplicaciones permite desarrollar sistemas cada vez más complejos en los cuales podrían basarse decisiones críticas como los resultados que pueden proveer los sistemas de alerta temprana de emergencia. A través de la adquisición satelital de imágenes se puede obtener información de la tierra tales como: elevación y humedad del suelo, pronósticos de precipitaciones, etc. Esto permitió el desarrollo de una aplicación que simula el comportamiento del agua en un modelo de elevación digital (DEM) teniendo en cuenta propiedades físicas y del suelo. Tomando como base el modelo de inundaciones desarrollado por el Dr. Sergio Masuelli y teniendo a disposición los Estándares de Ingeniería del Software de la Agencia Espacial Europea se llevaron a cabo los procesos de calidad para reingeniería, diseño e implementación de un sistema que simula el flujo del agua y que permita predecir de forma temprana posibles inundaciones y que mejore de manera considerable ciertas funcionalidades del prototipo original.

Palabras claves: hidrología, simulador, inundaciones, implementacion, estándares de la ESA, procesos hidrológicos, alerta de emergencias, requerimientos, validación, proyecto de software

D.2.9 Management

Agradecimientos

Al director de este trabajo porque más que guiarme en conocimientos del área, fue una excelente persona, motivador y aguante, día tras día en este tramo final por conseguir este título de grado. Desde lo psicológico hasta lo anímico y personal.

A un amigo, Mirko por los importantes aportes en cuanto a estructuración del trabajo, edición e incentivo personal.

A mi gran amigo Fran, por bancarme varios fines de semana y su incesante preocupación porque concluya exitosamente este trabajo.

A mi codirector, Javier por haberme empujado en varias oportunidades y permitirme ciertos espacios laborales muy importantes para que pudiera avanzar.

A mi amigo Ramiro con quien cursamos y sacamos adelante muchas de las materias de esta carrera universitaria.

A mi mamá y a mi papá, quienes siempre creyeron en mi y, aunque mi papá ya no esté conmigo estoy seguro que realmente estaría muy orgulloso de este logro personal.

Tabla de Contenidos

1. Introducción	1
1.1. Motivaciones	1
1.2. Objetivos	1
2. Modelo Hidrológico	2
2.1. Introducción a la hidrología	2
2.1.1. Definición	2
2.1.2. Objetivos	2
2.1.3. Ciclo Hidrológico	2
2.1.4. Sistema Hidrológico	3
2.2. Procesos hidrológicos	4
2.2.1. Escurrimiento	4
2.2.2. Infiltración	5
2.2.3. Evaporación y Evapotranspiración	6
2.3. Antecedente del modelo hidrológico	6
2.4. Primera implementación	7
2.4.1. Caracterización del Área de Estudio	7
2.4.2. Descripción del área de estudio en función del modelo hidrológico	9
2.4.3. Adecuación del DEM para usos hidrológicos en llanuras	10
2.4.4. Hipótesis del Modelo	11
2.4.5. Descripción del Modelo Hidrológico	12
2.5. Nueva Implementación	18

2.5.1. Características de la primera implementación y objetivos de cambio	18
2.5.2. Implementación de mejoras necesarias al modelo.	21
3. Reingeniería del software del Simulador Hidrológico	28
3.1. Introducción	28
3.2. Fase UR: Definición de los Requerimientos	30
3.3. Fase SS: Requerimientos de Software y Diseño Arquitectónico	31
3.3.1. El Modelo Lógico	31
3.3.2. Requerimientos de Software	32
3.3.3. Diseño Arquitectónico	32
3.4. Fase DD: Diseño Detallado e Implementación	33
3.4.1. Diseño del Simulador Hidrológico	33
3.4.2. Manual de Usuario del Software	34
3.4.3. Documento de Plan de Verificación y Validación	34
3.5. Fase TR: Transferencia	34
3.5.1. Documento de Reportes de Verificación y Validación	35
4. Conclusiones	36
4.1. Conclusiones de este trabajo	36
4.2. Trabajo a futuro	37
Bibliografía	38
A. Documento de Requerimientos de Usuario	40
B. Documento de Especificación de Software	50
C. Documento de Diseño Detallado	70
D. Documento de Verificación y Validación	88
E. Manual de Usuario de Software	109
F. Reporte de Verificación y Validación	125

Índice de figuras

2.1.	Vista panorámica de la inundación que tuvo lugar en la cuenca del Salado en el año 2012	8
2.2.	Vista panorámica de la inundación que tuvo lugar en la cuenca del Salado en el año 2012	9
2.3.	Vista panorámica de la inundación que tuvo lugar en la cuenca del Salado en el año 2012	9
2.4.	Ubicación del área de aplicación en la provincia de Buenos Aires y Subcuenca B4 . .	10
2.5.	Procesos de intercambio de agua superficial y de la primera capa de suelo entre celdas vecinas.	12
2.6.	Flujos de agua para una determinada celda	14
2.7.	Flujo entre dos celdas i y j	14
2.8.	Área transversal entre dos celdas i y j	15
2.9.	Radio Hidráulico entre dos celdas i y j	15
2.10.	Pendiente de agua superficial entre dos celdas i y j	15
2.11.	Modelo lógico de ejecución para el Algoritmo de Modelado Hidrológico	17
2.12.	Ilustración de las oscilaciones “tablero de ajedrez” entre dos celdas adyacentes . . .	19
2.13.	Ampliación de imagen de resultado en donde se puede observar el efecto ”Tablero de Ajedrez“	20
2.14.	Ejemplo de matriz de cantidad de variaciones	22
2.15.	Ejemplo de matriz de cluster	23
2.17.	Agua en superficie luego de transcurridos 1 (rojo), 5 (verde) y 10 (azul) días de ejecución	25
2.18.	Ampliación de salidas generadas en donde se puede observar el efecto “Tablero de Ajedrez”	26

3.1. Diagrama de Arquitectura del sistema de modelado hidrológico.	33
--	----

Introducción

1.1. Motivaciones

Actualmente, formo parte de un grupo de desarrollo de software que me permite tener contacto directo con los sistemas de adquisición y procesamiento de imágenes satelitales, como así también con profesionales experimentados en esta área. La cantidad creciente de aplicaciones, imágenes satelitales y la integración de estas aplicaciones permite desarrollar sistemas cada vez más complejos, los cuales, generaría resultados que podrían dar origen a decisiones críticas. Un claro ejemplo de estos resultados son los provistos por los sistemas de alerta temprana de emergencias. A través de la adquisición satelital de imágenes se puede obtener información de la tierra tales como: elevación, humedad y tipo de suelo, pronósticos de precipitaciones, etc. Esto permite el desarrollo de una aplicación que modele el comportamiento del agua en un Modelo de Elevación Digital (DEM, Digital Elevation Model) teniendo en cuenta las propiedades del suelo y propiedades físicas.

1.2. Objetivos

Estudiar el prototipo del simulador hidrológico desarrollado por el Dr. Sergio Masuelli y el algoritmo en el cual se basó para su implementación (Vázquez et al., 2006).

Efectuar re-ingeniería de software con el objeto de realizar una nueva implementación para volverlo más eficiente y para permitir darle más flexibilidad y mayores funcionalidades, tales como facilidad en la visualización y manipulación de los resultados, aplicación del modelo a distintas regiones, etc.

Aplicar los procesos de ingeniería (Panzotto Zénere, 2009) basados en los estándares de calidad propuestos por la ESA (Agencia Espacial Europea) para la ejecución del proyecto, estos estándares son los utilizados actualmente en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) en Argentina. Los procesos mencionados implica generación de la documentación, desarrollo del diseño de software e implementación.

Además, se corregirá un problema de funcionamiento del algoritmo que presenta el modelo original, el cual se explicará en detalle más adelante.

Capítulo **2**

Modelo Hidrológico

2.1. Introducción a la hidrología

2.1.1. Definición

La Hidrología es “La ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, es la geociencia que describe y predice:

- Las variaciones espaciales y temporales del agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica del sistema hídrico global y;
- El movimiento del agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria”.

2.1.2. Objetivos

En general los objetivos de la Hidrología son:

- Adquirir los conocimientos teóricos básicos de los fenómenos hidrológicos para resolver los problemas que en este campo se presentan en nuestro país;
- Conocer la cantidad, frecuencia y naturaleza de ocurrencia del proceso lluvia-escorrentía sobre la superficie terrestre y;
- Determinar eventos de diseño, a partirde los datos hidrológicos de los diferentes fenómenos hidrológicos que son registrados en las redes de medición.

2.1.3. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico está compuesto por diferentes variables, las cuales se relacionan entre sí por medio de los procesos hidrológicos. En general, se entiende por proceso a una serie de acciones que producen un cambio o desarrollo en un sistema y para el caso particular de la Hidrología, los procesos están asociados con aquellos fenómenos que intervienen tanto en el movimiento del agua como en los

cambios que sufre ésta en sus características físicas, químicas y biológicas al desplazarse por diversos medios.

El ciclo hidrológico se puede representar como un sistema, es decir, como una estructura o volumen en el espacio, delimitada por una frontera, cuyos componentes internos interactúan entre sí o con otros sistemas adyacentes (Chow et al., 1994). Los componentes del sistema serán las variables hidrológicas y los procesos que las relacionan entre sí; los sistemas adyacentes serán aquellos que tienen como límites comunes las capas altas de la atmósfera y los sistemas geológicos profundos. (Breña Puyol y Jacobo Villa, 2006)

2.1.4. Sistema Hidrológico

El sistema hidrológico representa un sistema de depósitos del agua en el territorio de referencia así como las transferencias entre ellos. La descripción más sencilla del sistema hidrológico identifica tres depósitos: el agua de la atmósfera; el agua de los océanos y mares y; el agua sobre la superficie de la tierra y subterránea. Las principales transferencias a la atmósfera son representadas por la evaporación y la transpiración, y la transferencia de la atmósfera a la tierra por la precipitación. Conocer el funcionamiento de los sistemas hidrológicos permite anticipar los impactos, lo cual es fundamental para trazar objetivos en relación a la planificación y prevención. El proceso de lluvia-escorrentía puede representarse como un sistema hidrológico en una cuenca. Una cuenca es una extensión de tierra que drena hacia un lugar dado (por lo general la salida de la cuenca) donde el flujo de agua se une a otro cuerpo de agua, como un río, lago o mar. La divisoria de aguas es una línea que separa la superficie de tierra, cuyo drenaje fluye hacia un río dado, de las superficies de tierra cuyos desagües corren hacia otros ríos. La lluvia es la entrada, distribuida en el espacio sobre el plano superior, el caudal es la salida, concentrado en el espacio de la salida de la cuenca. La evaporación y el flujo subsuperficial también pueden considerarse como salidas, pero son comúnmente muy pequeños comparados con el caudal de salida durante una tormenta. La estructura del sistema es el conjunto de caminos de flujo sobre el suelo o subsuperficiales e incluye sistemas tributarios que eventualmente convergen para convertirse en caudal a la salida de la cuenca (Chow et al., 1994)

Si la superficie y el suelo de la cuenca se examina en detalle, el número de caminos posibles resulta enorme. A lo largo de alguno de estos caminos, la forma, pendiente y rugosidad pueden cambiar continuamente y estos factores también pueden variar en el tiempo a medida que el suelo se humedece. De manera análoga, la precipitación varía aleatoriamente en el espacio y el tiempo. Debido a estas grandes complicaciones, en la mayoría de los casos, no es posible describir los procesos hidrológicos modelados detalladamente a partir de las leyes físicas. Si se utiliza el concepto de sistema, el esfuerzo se dirige hacia la construcción de un modelo que relacione entradas y salidas en lugar de llevar a cabo la extremadamente difícil tarea de una representación exacta de los detalles del sistema, los cuales pueden ser abstraídos desde un punto de vista práctico. Sin embargo, el conocimiento de los modelos basados en la física ayuda al desarrollo de un buen modelo y a la determinación de su precisión.

El objetivo del análisis del sistema hidrológico es estudiar la operación del sistema y predecir una salida. El modelo que se consideró de sistema hidrológico es una aproximación al sistema real; donde sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas. Debido a los grandes progresos en la investigación, actualmente se puede simular el fenómeno hidrológico de modo muy complejo. (De Elia, 2011)

2.2. Procesos hidrológicos

Solo se mencionarán los procesos hidrológicos que se usarán en el modelo. La descripción de los mismos fue obtenida del libro "*Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*" (Breña Puyol y Jacobo Villa, 2006)

2.2.1. Escurrimiento

De acuerdo con el ciclo hidrológico, el escurrimiento se puede definir como la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago, si se trata de cuencas abiertas o cerradas, respectivamente. Ahora bien, el escurrimiento que se presenta en un cauce es alimentado por cuatro fuentes diferentes y cada una de ellos tiene características muy peculiares, tal como se menciona a continuación.

2.2.1.1. Fuentes del Escurrimiento

El escurrimiento se inicia sobre el terreno una vez que en la superficie se alcanza un valor de contenido de humedad cercano a la condición de saturación. Posteriormente se iniciará un flujo tanto sobre las laderas, como a través de la matriz de los suelos, de las fracturas de las rocas o por las fronteras entre materiales de distintas características, esto es, un flujo subsuperficial.

En el primer caso, el flujo se incorporará a algún tributario del sistema de drenaje de la cuenca. En el segundo caso, parte del agua subsuperficial podrá percolar a sistemas más profundos, otra parte permanecerá como un almacenamiento temporal, y otra regresará a la superficie, donde eventualmente formará parte de los volúmenes que conducirán los diferentes cauces a zonas de menor altitud.

Las fuentes principales del escurrimiento en cauces se pueden clasificar en cuatro tipos: precipitación directa sobre el cauce; flujo subsuperficial; flujo base; y escurrimiento directo.

Precipitación directa sobre el cauce. Es un aporte modesto comparado con los volúmenes asociados a las otras fuentes; esto se debe principalmente a la pequeña superficie que generalmente abarcan los ríos y corrientes.

Flujo subsuperficial. Los volúmenes asociados a este escurrimiento varían en el tiempo y en el espacio. En la época de estiaje podrán descargar a un ritmo casi constante, formando corrientes perennes. En otros casos sólo aportarán cantidades suficientes para mantener por algunas semanas más, después de las últimas lluvias, el gasto en un cauce, formando así las corrientes intermitentes. Cuando el aporte es tan reducido que sólo se mantiene un contenido de humedad elevado en el cauce y en sus zonas adyacentes, el flujo superficial es prácticamente nulo; sin embargo, si se presenta algún evento tal como lluvia, deshielo, etc., el posible escurrimiento superficial será del tipo efímero. Si un tramo del cauce presenta condiciones de contenido de humedad relativamente bajas, o si el material es fracturado o muestra canalizaciones por disolución o génesis, el escurrimiento se verá afectado, ya que una parte será aportada a las riberas y/o a través de la plantilla.

Flujo base. Es el aporte de un sistema acuífero somero a un cauce determinado. En el caso en que una parte de la cuenca se encuentre perturbada por alguna obra hidráulica tal como una presa, un sistema de riego, etc., entonces el gasto base corresponderá a los volúmenes asociados con la operación de dichas obras.

Escurrimiento directo. Es aquel volumen asociado a la precipitación, es decir, el flujo remanente

una vez que quedan definidas las primeras tres fuentes.

2.2.1.2. Procesos del escurrimiento

Para el análisis básico del escurrimiento, se deben considerar las variables siguientes: la intensidad de la precipitación; la capacidad de infiltración de una superficie particular; la condición hidráulica a la que se encuentra el suelo o la roca; y la característica hidráulica del suelo o roca. La comparación entre estas variables permite obtener información sobre los procesos que se pueden presentar bajo diferentes situaciones. A continuación se comentan cuatro condiciones que se pueden presentar, con sus respectivas consecuencias.

- Cuando la intensidad de precipitación es menor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es menor a su capacidad de campo. En este caso, el escurrimiento sobre la superficie del terreno será reducido, ya que el suelo o roca será capaz de captar la mayor parte del volumen de agua que entra como precipitación. El flujo subsuperficial será muy reducido, ya que el agua captada se utilizará para aumentar el contenido de humedad inicial.
- Cuando la intensidad de precipitación es menor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es mayor o igual a su capacidad de campo. Como el suelo o roca se encuentra en una condición cercana a la capacidad de campo, parte de la precipitación se convertirá eventualmente en escurrimiento sobre el terreno; sin embargo, los volúmenes seguirán siendo de poca cuantía. El flujo subsuperficial será importante.
- Cuando la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es menor a su capacidad de campo. El suelo o roca presenta una deficiencia de humedad importante, de modo que el agua que precipite, a pesar de que la capacidad de infiltración es reducida, se utilizará en abastecer de humedad al suelo, escurriendo sólo una porción relativamente pequeña.
- Cuando la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es mayor o igual a su capacidad de campo. En este caso, al encontrarse el suelo o roca en una condición cercana a la saturación, no permitirá una infiltración importante, de modo que la mayor parte se convertirá en escurrimiento sobre el terreno. El flujo subsuperficial también será importante. Cuando la parte somera de un suelo no permite una infiltración importante, se forma el denominado flujo Hortoniano, es decir, la saturación en un suelo o roca tendrá lugar sólo en una porción cercana a la superficie, siendo incapaz el frente de humedad de avanzar a mayor profundidad, favoreciendo de esta manera al escurrimiento sobre el terreno.

2.2.2. Infiltración

La cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno por unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo recibe el nombre de ritmo o tasa de infiltración. Si el agua que se introduce al terreno por la superficie se desplaza a mayor profundidad, entonces se dice que ocurre la percolación. Un porcentaje del agua infiltrada podrá desplazarse en forma lateral a través del material dispuesto abajo de la superficie del terreno, a lo que se denomina interflujo o flujo subsuperficial.

Medio Poroso. Es aquel medio formado por partículas sólidas de diferentes tamaños y composiciones químicas, donde ocurren interacciones con el aire y el agua. Dependiendo de la relación entre

aire y agua se clasificará al medio: como no saturado y saturado. En el primer caso, los espacios entre partículas sólidas están llenos de aire, excepto por una película de agua que se forma alrededor de la superficie de éstas y que es muy difícil de eliminar o extraer. En el segundo caso (medio poroso saturado), en la condición de saturación, el aire es expulsado de los espacios entre partículas casi en su totalidad, debido a la presencia del agua. Si el medio poroso tiene contacto con la atmósfera a través de la superficie del terreno, entonces la posible infiltración dependerá de la condición hidráulica y de las características físicas del medio: si la condición es de saturación, la infiltración será despreciable; si el medio es no saturado, pero sus características físicas dificultan el paso de agua, entonces la infiltración será baja; si el medio es no saturado pero con características físicas que permiten que el agua se desplace fácilmente, entonces la infiltración será importante.

2.2.3. Evaporación y Evapotranspiración

Se define como evaporación al proceso físico por el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso y representa la tasa neta de transporte de vapor hacia la atmósfera. El cambio de estado de líquido a vapor se debe a la radiación solar que brinda la energía necesaria para que las moléculas del agua cambien de estado. Además de la radiación solar, las variables meteorológicas que intervienen en la evaporación, particularmente de las superficies libre de agua, son la temperatura del aire, velocidad de viento, tensión de vapor ó humedad relativa del ambiente, determinando el poder evaporante de la atmósfera, que es la capacidad del aire que rodea a la superficie evaporante para admitir vapor de agua. La evaporación total es la suma de la evaporación de agua libre y la evapotranspiración. La evaporación puede ser de distintas procedencias: evaporación de superficie de agua libre, como ser lagos, tanques, cursos de agua, etc.; evaporación del agua del suelo y transpiración de plantas, que también toman agua del suelo por medio de sus raíces. Estas dos últimas son muy difíciles de cuantificar o estimar en forma separada, por lo tanto se engloban en una sola variable denominada evapotranspiración. (Paris et al., 2009)

2.3. Antecedente del modelo hidrológico

Existen una gran cantidad de modelos hidrodinámicos que estudian las inundaciones de llanuras pertenecientes a cuencas hídricas. Estos modelos generalmente tienen centrado su interés en predecir el hidrograma del río en distintos puntos para eventos seleccionados, considerando a la llanura circundante más bien como una zona de alimentación de agua al río. De esta forma la inundación está considerada a través del desborde del río y el proceso que se simula es esencialmente la escurrimiento superficial en la llanura y en el canal propio del río. Como ejemplo de estos modelos podemos citar entre otros: Mike-11, ONDA, HEC-RAS y LISFLOOD-FP (Bates y De Roo, 2000). Estos modelos tienen distintos grados de sofisticación en lo referente a los esquemas de ecuaciones que resuelven, pero como señalan Bates y De Roo (2000), dado que la topografía tiene un peso determinante en la simulación, el uso de esquemas complejos no aseguran un mayor grado de predicción. En tal sentido, es preferible usar esquemas simples que se ajusten al requerimiento de predicción deseado por el usuario y que integren adecuadamente los datos de entrada. Estas características son reunidas por el modelo LISFLOOD-FP, el cual ha sido tomado como base para nuestro modelado.

2.4. Primera implementación

2.4.1. Caracterización del Área de Estudio

La Pampa Deprimida es una extensa llanura que se extiende hacia el noreste y sudoeste de las sierras de Tandil en la provincia de Buenos Aires. Ubicada en el centro-este de la provincia de Buenos Aires, Argentina ($36^{\circ} 18' 15''$ Sur; $58^{\circ} 36' 56''$ Oeste).

Abarca en gran parte la cuenca media y baja del río Salado, todos los sistemas hidrográficos de sus tributarios y el sistema del río Samborombón. Es el área de concentración de los escurrimientos superficiales y subsuperficiales por excelencia de un área de 10 millones de ha. La región que más frecuentemente se anega es la subcuenca B4, cuya superficie puede estimarse en 3,5 millones de ha. (Posadas, 1934) (Baragallo, 1983). El patrón hidrológico de la depresión del Salado está bien definido en el espacio y en el tiempo, pero las respuestas a dichos eventos no pueden ser explicadas por los conceptos clásicos de la hidrología de superficie (transmisión de un volumen en el tiempo), ya que se trata de una extensa zona plana con una alta densidad de cuerpos de agua y de escasa energía morfogenética (Tricart, 1973). Esto se ve claramente si se representa a los procesos de entrada y salida del agua del sistema en un modelo de balance hidrológico. Entonces:

$$P = ET + Es + As + Pc + Alm \quad (2.1)$$

dónde P es la precipitación, ET es la evaporación y la evapotranspiración, Es es el escurrimiento superficial, As es la retención superficial (lagunas, cubetas, cañadas), Pc la infiltración y Alm el almacenamiento en el suelo.

Para un sistema hidrológico como el de la depresión del Salado, caracterizado por disipar la energía proveniente de la lluvia por medio de amortiguación (Baragallo, 1983) se observa que

$$P - (ET + As + Pc + Alm) = Es \quad (2.2)$$

y

$$Es < \%10 \quad (2.3)$$

Por lo tanto, es de esperar que la P caída en la zona no sea evacuada por canales, cañadas y arroyos, sino que el sistema capta el agua y lo transformaría en expansión y disipación ocupando todas las áreas deprimidas de primer orden (cubetas de deflación, áreas deprimidas aledañas a cuerpos de agua, vías de escurrimiento), para luego, una vez colmatadas éstas, avanzar sobre las de segundo orden (áreas circundantes a las anteriores) siguientes en función de su altura relativa. Tal cual lo descrito por Posadas (1934), la zona tendría una capacidad estimada de retención de agua en depresiones que según distintos autores rondaría entre los 100 y 300 mm, aunque este dato es estimativo y por el momento no ha sido evaluado (Sala, 1983).

Tambié es importante destacar que mas del 70% de las grandes inundaciones se han observado con eventos extraordinarios de otoño-invierno, con una duración media del período anegado de cinco meses. El resto ocurrieron durante la primavera, pero por condiciones de mayor demanda de la ET , su duración media descendió a tres meses o menos. Esto refuerza la idea que el principal componente vertical que controla el volumen de agua superficial es la ET . La capacidad de infiltración de un horizonte Bt sódico típico de la depresión del Salado, que llegaría a lo sumo a 0,001 mm día⁻¹, un techo del mismo cercano a los 10 - 20 cm de profundidad, y una velocidad de infiltración básica inferior a

los 17 mm h⁻¹ (INTA, 1977). Seguramente existen vías de flujo preferencial hacia el acuífero, pero son de escasa importancia ante la magnitud de estos eventos. Además, cuando están húmedos, los suelos arcillosos, y más aún los sódicos, se expanden notablemente (coeficiente de extensibilidad del suelo mayor a 0,110), cerrando cualquier grieta. Con respecto al nivel freático, varios autores han probado que en la pampa deprimida no hay relación evidente entre la altura del nivel freático y el agua acumulada en superficie. Ellos detectaron que en momentos húmedos y de nivel freático alto, la calidad del agua de la parte superior del acuífero ubicada a unos 40 cm de profundidad poseía una composición química totalmente distinta a la superficial y que no había relación existente entre la altura de la freática y el estado hídrico de las distintas comunidades vegetales del pastizal. La tensión capilar es poco significativa en momentos de saturación del suelo si no existe una demanda atmosférica importante, por lo cual dominan los movimientos descendentes del agua. En períodos de alta demanda atmosférica, dominan la *ET* y el ascenso capilar, motivo por el cual suelen observarse aumentos en la conductividad eléctrica y aumento del pH en superficie.

Este conjunto de situaciones se presentan en la cuenca del arroyo Azul, donde incrementos significativos en el área cubierta por agua se observa sólo al llegar a un determinado milimetraje acumulado (Vázquez, 2003). Es evidente entonces que los procesos verticales dominan en la dinámica del agua acumulada superficialmente en la pampa deprimida, como son la *ET* y la infiltración profunda y el almacenamiento. (Vazquez et al., 2011)



Figura 2.1: Vista panorámica de la inundación que tuvo lugar en la cuenca del Salado en el año 2012



Figura 2.2: Vista panorámica de la inundación que tuvo lugar en la cuenca del Salado en el año 2012



Figura 2.3: Vista panorámica de la inundación que tuvo lugar en la cuenca del Salado en el año 2012

2.4.2. Descripción del área de estudio en función del modelo hidrológico

La zona de estudio es la subcuenca B4 del río Salado (Figura 2.4) se caracteriza por ser extremadamente plana en su mayor parte, con varias lagunas (Figura 2.1, 2.2 y 2.3), con pendientes inferiores a 1:1000 excepto en su extremo sur en que se halla la sierra de Tandil. Desde el punto de vista hidrológico, la escasa pendiente hace que no existan canales importantes que permitan conducir

el escurrimiento superficial sino que éste se realiza en manto sobre grandes áreas y en escalas de tiempo relativamente largas. Es así que desde el punto de vista de la subcuenca como un todo, en el balance hidrológico general predominan los procesos verticales (evapotranspiración e infiltración) por sobre el escurrimiento. Sin embargo, el escurrimiento superficial es importante para determinar la zona anegada que estará sujeta a los flujos verticales de pérdida. Por otra parte, cada laguna funciona como un reservorio limitado de una microcuenca, pero al superarse su capacidad de almacenamiento se produce escurrimiento superficial encadenando unas con otras y generando un área anegada que las contiene.



Figura 2.4: Ubicación del área de aplicación en la provincia de Buenos Aires y Subcuenca B4

Dadas las características de la zona estudiada, se debe realizar un modelado que tenga en cuenta varios detalles y resolver algunos problemas reduciendo el nivel de ruido de los metros a los centímetros para que el agua no encuentre obstáculo espurios para drenar. El no poseer canales importantes hace que el escurrimiento sobre la planicie y la existencia de pequeños bajos conduzca a que éstos se conviertan en zonas anegadas, cuando en los otros modelos este proceso era funcional para obtener la carga del río, el que con su desborde determina dichas zonas. La importancia de los procesos verticales hace que se los deba incluir en el modelo, con la complicación de que estos procesos tienen escalas espaciales y temporales muy distintas. (Vazquez et al., 2011)

2.4.3. Adecuación del DEM para usos hidrológicos en llanuras

Para la primera implementación del modelo se utilizó un DEM del SRTM de la zona que se puede descargar de la página de la Universidad de Maryland <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

Sin embargo, este DEM tiene esencialmente la información en un estado crudo por cuanto la altura que muestra para cada píxel tiene que ver con la primera superficie reflectante, es decir que está dando cuenta del tope de la foresta y no del suelo en si mismo, por ejemplo. Además, es reconocido por el USGS que estos datos tienen algunas fallas, como ser valores de altura extremadamente altos o extremadamente bajos, especialmente en zonas que involucran cuerpos de agua, pues su nivel de backscatter es muy bajo y por lo tanto su procesamiento es generalmente muy ruidoso.

La resolución vertical (relativa) declarada es mejor que 10m, aunque algunos estudios la sitúan en alrededor de 2m para la versión de 30m (Lee y Ge, 2005), y los datos están digitalizados al metro. Por encima de esta resolución observamos que para zonas muy planas está presente un ruido de baja frecuencia de 1 metro de amplitud que es notable en zonas de llanura en dirección NO-SE aproximadamente.

Por todo lo antes mencionado, el uso directo de este DEM para modelos hidrológicos en zonas de llanuras puede ser muy problemático. Por cuestiones de estabilidad numérica para pendientes inferiores a 1:1000 y para celdas de 100m se necesitan precisiones verticales del orden de algunos centímetros. En tal sentido, para la primera implementación del modelo se utilizó el DEM resultante luego de diversas mejoras como base topográfica para un modelo hidrológico en llanura. Estas incluyeron el filtrado del monte (usando imágenes Landsat), el filtrado del ruido de baja frecuencia y amplitud mencionado, ruido de alta frecuencia en general y correcciones para cuerpos de agua (Masuelli et al., 2006).

2.4.4. Hipótesis del Modelo

Se trabajará sobre el trabajo realizado por (Vázquez et al., 2006) el cual se basa en las hipótesis del modelo LISFLOOD-FP, sin canales de descarga. En consecuencia, las ecuaciones usadas para la dinámica del agua son las de basadas en las ecuaciones de Manning (Wilson).

Para esta primera etapa inicial se trabajará bajo las siguientes condiciones:

- Básicas de los procesos

- No modifica la atmósfera.
- Temperatura y humedad medias (no necesarias).
- Evapotranspiración independiente media decádica.
- Superficies corregidas por pendiente
- Ecuaciones de movimiento: Continuidad y Manning
- Superficies lisas (con resistencia hidráulica para el escurrimiento superficial, siendo la principal fuente de rozamiento los pastizales, ya que cubren el 85 por ciento de la superficie total del área).
- Variables a predecir: cantidad de agua en la superficie y en cada capa del suelo.

- De la simulación

- Dominio rectangular 500000 puntos
- Grilla cuadrada, DX=90m.
- DEM de 1m de resolución en altura.
- El suelo consta de 1 capa porosa sobre un sustrato impermeable que tiene una cierta capacidad de retención, una velocidad de infiltración y otra de trasmisión al otro punto del dominio.
- La distribución de suelos será la detallada en las cartas de suelo 1:50.000 del INTA (1977), llevadas a las escalas de grilla del modelo. Como ya ha sido comprobado por Vázquez et al (2003), con considerar a la serie más representativa de cada unidad taxonómica será suficiente para modelar infiltración.

- Condiciones de contorno horizontales: abiertas, el agua puede irse del dominio.

Además, para la incialización se considerará agua en superficie (de precipitació) y agua en la capa porosa del suelo, y para la simulación se elige un escenario del tipo: Tormenta severa en la parte alta de la cuenca, toda dentro del dominio. Días posteriores sin tormentas (una semana mínimo).

2.4.5. Descripción del Modelo Hidrológico

En la figura se muestran las distintas interacciones que se consideran entre el agua superficial de anegamiento y la almacenada en la primera capa del suelo. Los procesos considerados son: escurrimiento superficial, infiltración, evapotranspiración y flujo subsuperficial y a continuación se realiza una descripción de los mismos. (Vázquez et al., 2006)

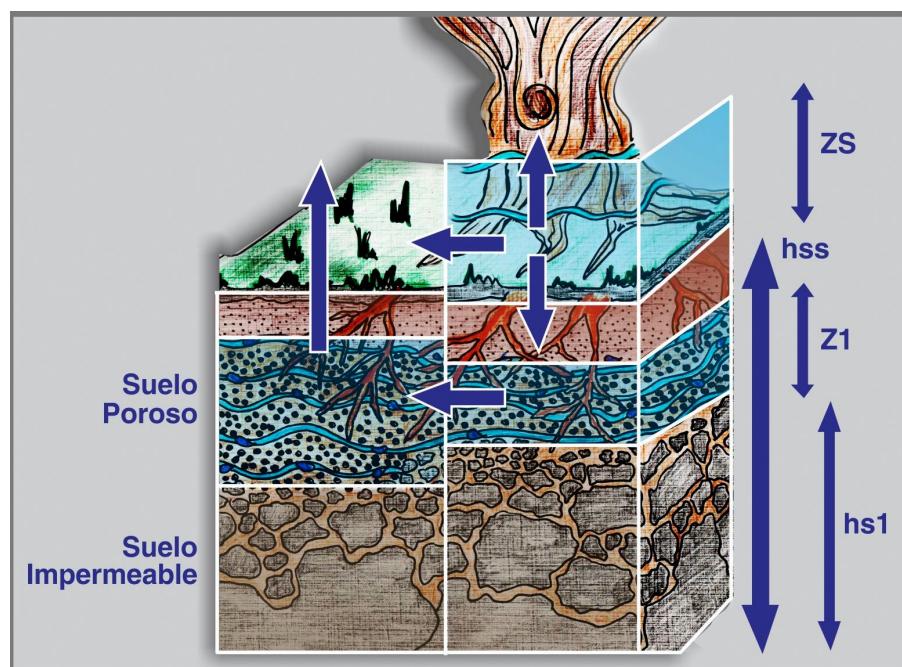


Figura 2.5: Procesos de intercambio de agua superficial y de la primera capa de suelo entre celdas vecinas.

Donde z_s es el nivel del agua en superficie, z_1 es el nivel del agua en la primera capa del suelo, h_{ss} y h_{s1} son las alturas de las dos primeras capas del suelo respectivamente. La segunda capa de suelo supondremos en realidad que es perfectamente impermeable por ello no consideraremos intercambios en esta capa.

2.4.5.1. Infiltración

Infiltración Vertical: Para simular la infiltración partimos de la ecuación de Darcy y por no tener datos sobre la fuerza de succión del suelo no la hemos considerado en esta oportunidad. El flujo a través de un área paralela al suelo resulta:

$$\frac{dz_s}{dt} = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2.4)$$

donde K es la conductividad hidráulica que depende de las características fisicoquímicas del suelo. Este dato se tiene para la zona de estudio, junto con la profundidad del suelo y la porosidad η , a partir de las cartas de suelo del INTA. El factor que acompaña a K es la cabeza hidráulica.

Para resolver la ecuación 2.4 explícitamente se debería almacenar la distribución del agua en altura para la primera capa del suelo para todo tiempo. (Vazquez et al., 2011) Por otro lado, partiendo de la condición de que haya agua en superficie y nada en la primera capa de suelo inmediatamente subyacente, esta ecuación arroja una velocidad de infiltración infinita inicial que luego tiende asintóticamente a K para tiempos grandes, que corresponden a un estado en que el espesor de suelo saturado es ya mucho mayor que el espesor de la capa de anegamiento. Analizando esta ecuación, para las condiciones que nos interesa simular, encontramos que la ecuación siguiente aproxima razonablemente a la ecuación 2.4, a la vez que simplifica los cálculos:

$$\frac{dz_s}{dt} = -2K = \frac{1}{\eta} \frac{dz_1}{dt} \quad (2.5)$$

Por lo tanto para el agua superficial en el proceso de infiltración vertical queda definido:

$$dz_s = -2Kdt = \frac{dz_1}{\eta} \quad (2.6)$$

y para el agua en la primera capa del suelo se define en función de dz_s :

$$dz_1 = \frac{-dz_s}{\eta} \quad (2.7)$$

Infiltración Horizontal: Para la infiltración horizontal de un punto de grilla al contiguo aplicamos la ley de Darcy (EM1110-2-1421.pdf):

$$Q = \begin{cases} k_{i,j} A_{i,j} \frac{(z1_j + hs1_j) - (z1_i + hs1_i)}{\Delta x} & z1_i > 0 \vee z1_j > 0 \\ 0 & z1_i = 0 \wedge z1_j = 0, \end{cases} \quad (2.8)$$

donde $k_{i,j}$ es la conductividad hidráulica vertical promedio entre las grillas i y j , $A_{i,j}$ es el área transversal (se define más adelante, fórmula 2.11) entre las celdas, $hs1$ es la altura de la capa de suelo permeable, $z1$ es la altura de agua en esta capa (figura 2.5) y Δx es el espaciado de la grilla. La expresión resultante es similar a suponer que la fuerza actuante para la infiltración horizontal es la misma que para la infiltración vertical es decir la gravedad, por lo tanto resulta ser el producto entre la conductividad hidráulica vertical y la pendiente de los niveles de agua. La condición en la expresión es para asegurar que este proceso se realiza solamente si alguno de los dos puntos de la grilla no está saturado.

2.4.5.2. Escurrimiento Superficial

Para considerar el escurrimiento superficial se usó la ecuación de continuidad y para los flujos laterales las ecuaciones de Manning, como en el modelo LISFLOOD-FP, discretizados sobre una grilla de celdas cuadradas que permite al modelo representar campos de flujo dinámicos 2D sobre la llanura de inundación. Nosotros suponemos que el flujo entre dos celdas es simplemente una función de la diferencia de altura de la superficie libre entre dichas celdas Al usar las ecuaciones de Manning

se está suponiendo que se está en un estado estacionario. Así tenemos para la variación de zs (altura del agua en la superficie en una celda), con respecto al tiempo t :

$$\frac{dzs}{dt} = Q_{izquierda} - Q_{derecha} + Q_{abajo} - Q_{arriba} \quad (2.9)$$

Donde $Q_{izquierda}, Q_{derecha}, Q_{abajo}, Q_{arriba}$ representan la tasas de flujo en cada dirección hacia adentro (Q positivo) y hacia afuera (Q negativo) de la celda.

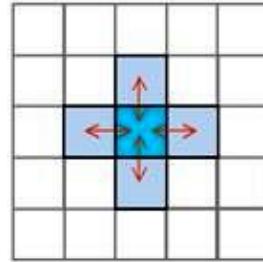


Figura 2.6: Flujos de agua para una determinada celda

Para cada par de celdas i, j el flujo $Q_{i,j}$ están definidos de la siguiente manera:

$$Q_{i,j} = \frac{A_{i,j} R_{i,j}^{2/3} S_{i,j}^{1/2}}{n} \quad (2.10)$$

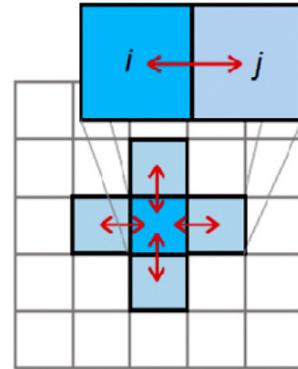


Figura 2.7: Flujo entre dos celdas i y j

donde $A_{i,j}$ representa el Área transversal entre las celdas i y j definido:

$$A_{i,j} = (|h_{i,j}|_{max} - |z_{i,j}|_{max})\Delta x \quad (2.11)$$

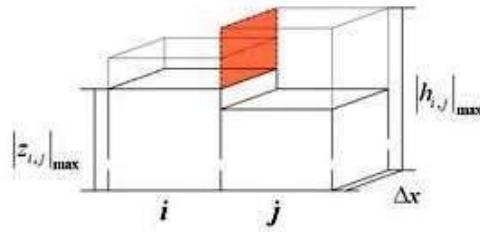


Figura 2.8: Área transversal entre dos celdas i y j

$R_{i,j}$ representa el Radio Hidráulico entre las celdas i y j definido:

$$R_{i,j} = \frac{(|h_{i,j}|_{max} - |z_{i,j}|_{max})\Delta x}{\Delta x + 2(|h_{i,j}|_{max} - |z_{i,j}|_{max})} \quad (2.12)$$

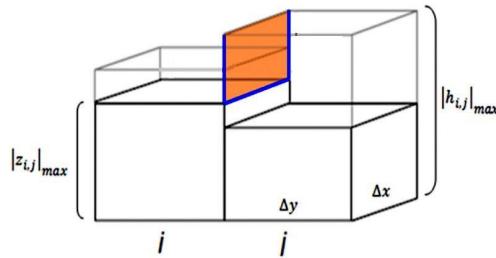


Figura 2.9: Radio Hidráulico entre dos celdas i y j

$S_{i,j}$ representa la pendiente del agua superficial entre las celdas i y j definido:

$$S_{i,j} = \frac{h_i - h_j}{\Delta x} \quad (2.13)$$

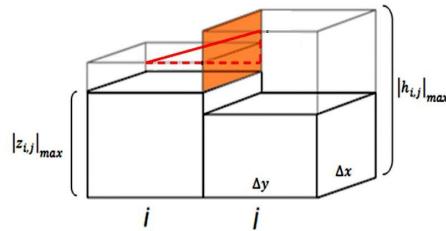


Figura 2.10: Pendiente de agua superficial entre dos celdas i y j

2.4.5.3. Evapotranspiración

Por simplicidad, se supone que la evaporación es uniforme e independiente del tiempo en todo el dominio, i. e. suponemos que no hay gradientes de temperatura, humedad y presión como así también que toda la vegetación transpira igual en todo el dominio. La expresión a usar es similar a la de Wolski et al. (2005) y Overton et al. (2003)

$$ET = \begin{cases} E_p & z_s \geq 0 \\ E_p \frac{z_1}{hss - hsl} & z_s \leq 0 \end{cases} \quad (2.14)$$

En el caso en que haya agua superficial la pérdida por evaporación corresponde a esta agua, de lo contrario corresponde al suelo. Para la simulación principal hemos usado $E_p = 3\text{mm}/\text{da}$.

2.4.5.4. Elección de paso de Tiempo

A priori, y es algo que se debe verificar con este modelo, los procesos por orden de velocidad (en órdenes de magnitud) serían: escurrimiento superficial, infiltración vertical, evapotranspiración e infiltración horizontal. La gran diferencia entre ellos imponen el uso de un modelo anidado con escalas de tiempo propias para cada uno. La unidad de tiempo base sería la dada por la evaporación y podríamos tomar el equivalente a perder 0,1 mm por paso.

$$0,1\text{mm}/\text{A} = E_p A \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{0,1\text{mm}}{E_p} = \Delta t = \frac{0,1\text{mm}}{E_p} = \frac{0,1\text{mm}}{3\text{mm}/24\text{h}} \cong 1\text{h} \quad (2.15)$$

Los otros pasos de tiempo (movimientos horizontales) deben ser múltiplos o submúltiplos de éste. Dado que para los movimientos horizontales el gradiente hidráulico irá en general disminuyendo con el tiempo y por lo tanto su escala natural de cambios se incrementará. Se podría usar un tiempo variable, estableciendo que el agua perdida no sea mayor que un 10% de su masa original para ningún punto de la grilla.

$$\frac{\Delta V}{V} \leq 0,1 \Rightarrow \Delta t = 0,1\text{min} \frac{V}{Q} \quad (2.16)$$

En la práctica se almacena la mínima variación de V/Q ($V \neq 0$) en el dominio para calcular el nuevo paso de tiempo.

2.4.5.5. Algoritmo de modelado hidrológico

Para la ejecución de la simulación se utilizo el algoritmo expuesto en la figura 2.11 teniendo en cuenta:

- **Lectura de Datos de Entrada:** En este paso del algoritmo se cargan todos los datos de entrada:
 - **Condiciones de Contorno (caracterizan la región):**
 - Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación.
 - Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable.
 - Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable.
 - **Condiciones de iniciales de ejecución (caracterizan la simulación):**
 - Altura de agua de la capa permeable.
 - Altura de agua sobre la superficie (inicialmente esta agua se supone proveniente de las precipitaciones recientes).

- **Procesos Hidrológicos:** Destacados en color celeste. En cada una de estas etapas del algoritmo, tiene lugar el proceso hidrológico mencionado.
- **Escritura de Resultados:** La altura del agua superficial y la altura de la capa permeable son escritas en disco cada cierta cantidad de horas.

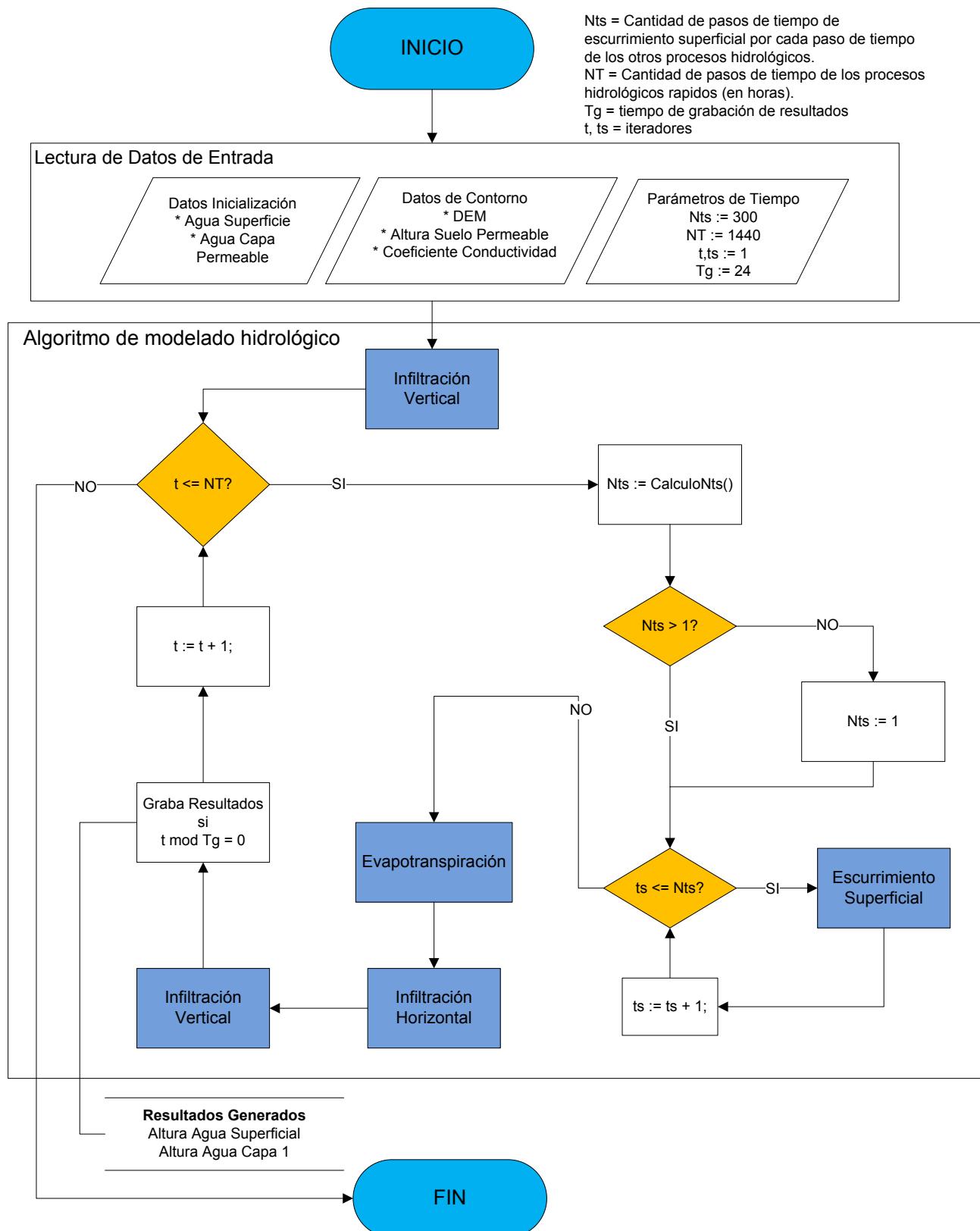


Figura 2.11: Modelo lógico de ejecución para el Algoritmo de Modelado Hidrológico

2.5. Nueva Implementación

2.5.1. Características de la primera implementación y objetivos de cambio

2.5.1.1. Desarrollo de código sin tipos abstractos de datos ni modularización

La primera implementación del código fuente del modelo de inundaciones fue desarrollada en el lenguaje de programación C. Dado que el objetivo en el momento de su implementación era principalmente la generación de resultados cualitativos, su posterior evaluación y pruebas al respecto, todo el código fuente, desde la lectura de los datos de entrada, el algoritmo de modelado hidrológico y la escritura de los resultados se encuentra en un solo archivo de texto, y fue desarrollado sin respetar ninguna metodología de desarrollo de software que asegure la calidad del programa. Ya que en C se usa un archivo como unidad de modularidad física, implica que no existía modularidad física, ya que solo existe un solo archivo de texto. Además no tiene rutinas ni definición de tipos abstractos de datos, por lo tanto no se provee tampoco modularidad lógica.

Se usaron los tipos de datos nativos que provee el lenguaje sin crear tipos de datos nuevos ni rutinas. Este desarrollo, si bien generaba los resultados esperados desde el punto de vista cualitativo, complica la legibilidad y la mantenibilidad, ya que dificulta entender el flujo de ejecución además de diferenciar donde se implementa cada proceso hidrológico, además ante una eventual necesidad de hacer alguna modificación en partes donde el código se repite se puede convertir en una tarea tediosa, extensa y que de lugar a la introducción de errores.

Se sugiere una reingeniería del sistema para obtener una nueva implementación que provea calidad de diseño, mantenibilidad, legibilidad del código, etc.

2.5.1.2. Consideraciones acerca de la elección del paso de tiempo

En todo esquema de resolución de ecuaciones diferenciales en un dominio discreto, mediante esquemas de diferencias finitas y cuyas variables evolucionan con el tiempo, la elección del paso de tiempo es sumamente importante:

- Un paso de tiempo demasiado grande puede llegar a generar inestabilidades tan grandes como para hacer que el cálculo colapse completamente. Por ejemplo las oscilaciones tipo "tablero de ajedrez" Figura 2.12.
- Un paso tiempo muy pequeño puede hacer que los errores de truncamiento (propios del uso de matemática discreta en las implementaciones para computadoras), sean mucho mayores que las variaciones que se quieren representar.

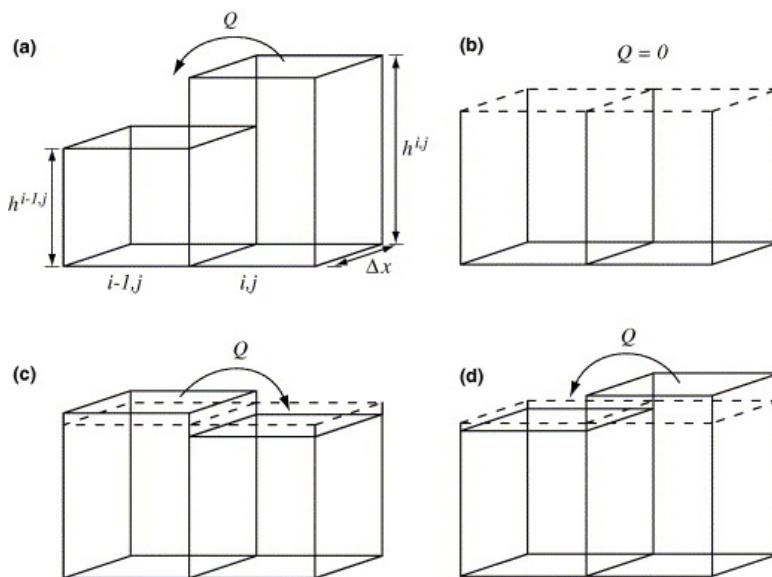


Figura 2.12: Ilustración de las oscilaciones “tablero de ajedrez” entre dos celdas adyacentes. (a) Al final del paso de tiempo t , el nivel de la celda $i; j$ es superior al de la celda $i - 1; j$. (b) Al final del paso de tiempo $t + dt$, la descarga de $i; j$ para $i - 1; j$ debe ser igual a cero ya que los niveles en cada celda son iguales. (c) Sin embargo, una oscilación comienza a desarrollarse como resultado de la baja en la superficie de gradiente entre las dos celdas y, al final del paso de tiempo $t + dt$, la descarga de $i; j$ para $i - 1; j$ hace que el nivel de $i - 1; j$ pase a ser muy alto. Esto se traducirá en una inversión del flujo errónea en el paso de tiempo $t + 2dt$. (d) Al final del paso de tiempo $t + 2dt$, el nivel de $i - 1; j$ ha causado una gran descarga hacia $i; j$, cuyo nivel se eleva demasiado y causa una segunda inversión de flujo sucesiva. Estas oscilaciones se desarrollan y extienden rápidamente causando la destrucción de la solución. (De Elia, 2011)

Por ello la elección del paso de tiempo es un hecho delicado pues tiene requerimientos contrapuestos cuya importancia relativa depende del estado de las variables y de los parámetros del entorno. Los fenómenos incluídos en esta simulación poseen escalas de tiempos intrínsecas muy dísimiles: mientras que para la evapotranspiración y la infiltración vertical se trabaja con horas como escala de tiempo, para el escurrimiento superficial en zonas de grandes pendientes, se usan segundos. Como conclusión tenemos que el paso de tiempo óptimo, varía en el espacio y en el tiempo.

Dado que no es posible variar el paso de tiempo en el espacio, se elige para estas simulaciones un paso de tiempo único para todo el dominio que varía sólo en el tiempo; en la práctica, resulta ser un subpaso del paso de tiempo de los procesos lentos y que es recalculado en cada paso de tiempo lento.

Para una correcta elección de paso de tiempo, muchas veces se requiere de un proceso de prueba y error a fin de lograr soluciones estables. Esto no es sencillo, ya que la estabilidad depende, para las ecuaciones consideradas, de la profundidad de agua, los gradientes de superficie libre, el coeficiente de Manning y el tamaño de celda de la cuadrícula.

El área de estudio elegida es una zona mixta, es decir posee áreas de montañas y otras de llanuras. Estas últimas además, contienen numerosas depresiones que ante eventuales precipitaciones dan lugar a cubetas de agua o lagunas, varias de las cuales permanecen durante varios días. Esta mezcla de diferentes relieves hace que para el caso del escurrimiento superficial la escala temporal sea muy variable, pues depende de la altura de la capa de agua en la superficie y de la pendiente del terreno, ambos altamente variables tanto temporal como espacialmente.

Las oscilaciones tipo “tablero de ajedrez” mencionadas anteriormente y provocadas por pasos de tiempo grandes, suelen tener lugar en zonas de lagunas de cierta profundidad, las cuales se extienden y amplían rápidamente haciendo inútil la simulación para esas regiones confinadas. El paso de tiempo necesario para estabilizar las soluciones para estas regiones resulta ser demasiado pequeño y tiene como consecuencia la aparición de errores de representación en la simulación a causa del truncamiento numérico en zonas muy llanas, además de tornar el modelo ineficiente computacionalmente. Figura

2.13

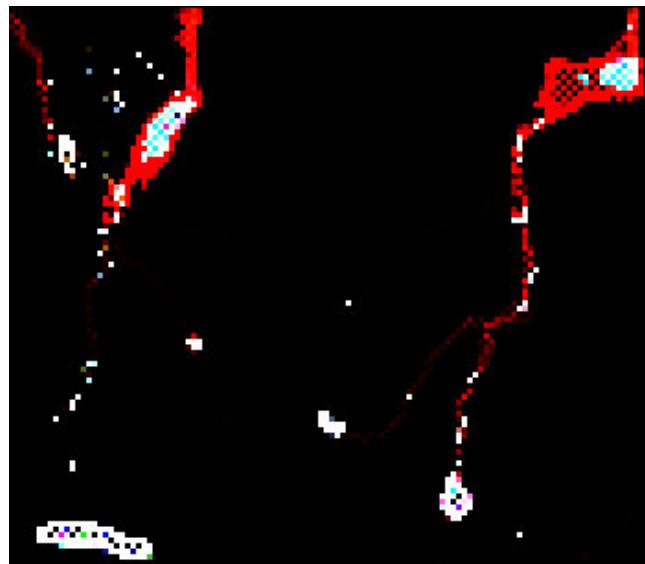


Figura 2.13: Ampliación de imagen de resultado en donde se puede observar el efecto "Tablero de Ajedrez"

Para enfrentar esta incompatibilidad de requerimientos debemos considerar nuevamente qué es lo que se quiere representar, es decir qué es lo que se observa que ocurre en la realidad en una visión macroscópica.

- Luego de que la precipitación ha cesado, y una vez que no ingresa ni sale agua de estas lagunas, se observa que el agua llega a un equilibrio de quietud vía escurrimiento superficial, los intercambios son solo verticales: evapotranspiración, infiltración vertical. Fuera de estas lagunas, en las zonas llanas se observa un escurrimiento superficial paulatinamente más débil (que requiere pasos de tiempo crecientes).

De esta manera, lo que es importante simular verdaderamente es el escurrimiento superficial y no los movimientos dentro de las lagunas. Así, el subpaso de tiempo para el escurrimiento superficial es variable pero tiene una cota mínima que es equivalente a considerar un flujo máximo. Las regiones que exceden ese máximo flujo y además oscilan (cambian de signo) corresponden a lagunas que en algún tiempo presentarían las distribuciones espaciales tipo tablero de ajedrez ya mencionadas.

Dado el comportamiento inesperado del modelo, y teniendo en cuenta que lo que realmente queremos representar para estas lagunas es el alcance del equilibrio se pretende que se introduzca alguna modificación al modelo que lleve la estabilidad a estas zonas de manera automática y dinámica.

Por esto lo que se ha implementado en el programa es la búsqueda dinámica de los píxeles correspondientes a las mismas y su planchado ad hoc.

2.5.1.3. Interfaz con el usuario rudimentaria

Características de la interfaz con el usuario de la primera implementación del modelo:

- El modo de interacción con el usuario es a través de línea de comando. Solo se puede iniciar el proceso de simulación llamando al archivo ejecutable del programa y observar, eventualmente los reportes de eventos y/o errores. No se puede detener la simulación más que deteniendo el proceso de sistema. No dispone de interfaz gráfica.

- La ubicación y el nombre de los archivos que indican los datos de inicialización y de contorno son fijos. Es decir, se encuentran hardcodeados en el código fuente del programa, lo mismo que los parámetros de tiempo. Reporte de tareas y/o errores por salida estándar.
- Reporte de tareas y/o errores por salida estándar.

Teniendo en cuenta el objetivo operativo de la nueva implementación se espera que se provean las siguientes características:

- Modo de utilización del programa a través de interfaz gráfica.
- Que el usuario tenga la posibilidad de elegir la ubicación y nombre para la lectura de los datos de entrada, ya sean los datos de inicialización como los datos de contorno.
- Reporte de tareas y/o errores en archivo de texto, con información de fecha y hora de los eventos.

2.5.2. Implementación de mejoras necesarias al modelo.

2.5.2.1. Mejoras en el código fuente

Partiendo como base del código de la primera implementación desarrollada en C se realizó una migración del código fuente al lenguaje C# (C Sharp). Esta decisión se basó principalmente en que C# es un lenguaje de programación orientado a objetos. La sintaxis básica de este lenguaje deriva de C/C++ y utiliza el modelo de objetos de la plataforma .NET. La posibilidad de utilizar paradigma de programación orientado a objetos nos permite definir **tipos abstractos**, nos ayuda a entender y analizar el problema concentrándonos en sus aspectos más importantes y obviar los detalles irrelevantes. (Ghezzi, 1998)

Modularidad nos permite diseñar y construir el programa a partir de pequeñas piezas llamadas módulos. La unidad de modularidad lógica de C# son las clases que soportan la creación de tipos abstractos de datos. Las clases proveen encapsulamiento y control de las interfaces permitiendo actualizaciones del programa, por ejemplo el uso de algoritmos más complejos para los procesos hidrológicos, sin modificar el código básico.

Además, C# provee componentes poderosos y eficientes para el manejo de matrices que son de mucha utilidad para la implementación del algoritmo de modelado hidrológico. Los componentes para creacion de interfaces gráficas son cómodos de utilizar y con abundante documentación.

2.5.2.2. Planchado

Como se mencionó en la sección 2.5.1.2 este modelo presenta el inconveniente de oscilaciones en lagunas lo que trae como consecuencia calculos de pasos de tiempo pequeño e ineficiencia en la ejecucion del algoritmo.

Dado que el problema viene dado por las lagunas que van generandose en depresiones propias del terreno, con el paso del tiempo y a medida que el agua comienza a fluir a partir de una precipitacion, el primer paso para la corrección de este comportamiento no deseado es la deteccion de estas lagunas.

Se debe tener en cuenta que a priori no se conoce donde se generarán estas lagunas, por lo tanto, esta detección debe ser de forma dinámica y periódica a medida que avanza el tiempo en la ejecución de la simulación.

Un factor clave que podemos usar para esta detección son las oscilaciones que se prolongan en el tiempo. Como bien sabemos por lo descripto en la sección 2.5.1.2 las oscilaciones generalmente ocurren en aguas profundas, en la mayoría de los casos, en lagunas confinadas. Una oscilación que se prolonga en el tiempo indica que las celdas entre las que ocurre mantienen el agua por un periodo de tiempo dado sin dejarla salir. Podemos usar este indicador para identificar las celdas candidatas a pertenecer a lagunas.

Por lo tanto, consideraremos una oscilación para las celdas i y j si en el paso de ejecucion t , entre la celda i y j hubo un valor de flujo de agua positivo, (ingresó agua en la celda i) y en el paso de tiempo $t + 1$ el valor del flujo entre las celdas i y j fue negativo (es decir, salió agua de la celda i hacia la celda j). Este hecho es considerado como una oscilación. Si en el paso de tiempo $t + 2$, se vuelve a dar el caso como en el tiempo $t + 1$, es decir valor de flujo de signo opuesto al del tiempo $t + 1$, consideraremos otra oscilación.

Haciendo este tipo de evaluaciones en cada paso de tiempo del escurrimiento superficial y llevando la cuenta de la cantidad de oscilaciones por cada par de celdas adyacentes, podemos crear una matriz de oscilaciones, de igual tamaño que la zona de estudio y que contenga en cada celda un valor entero indicando la cantidad de oscilaciones ocurrientes en un paso de ejecución grande (1 paso de 1 hora, correspondiente con el paso de tiempo de la evapotranspiración).

A partir de esto tendremos una matriz como se muestra en la figura 2.14

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	55	20	40	20	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	4	0
0	0	0	30	50	75	95	56	0	0	0	0	0	0	0	150	540	718	721	0
0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	376	801	952	958	962
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	605	948	958	962	966	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	475	718	723	728	739	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	32	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	54	100	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	547	58	59	245	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	0	0
0	0	0	0	300	0	141	130	0	0	0	0	0	0	0	60	75	89	7	0
0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	85	95	7	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	105	100	58	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	110	35	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2.14: Ejemplo de matriz de cantidad de variaciones

Esta información nos proporciona un mapa aproximado de la ubicación de las celdas pertenecientes a lagunas. Para tener un poco mas de seguridad de que estas celdas realmente representan partes de una laguna pondremos una **cota mínima a la cantidad de variaciones** que nos determinaran la validez o no de una celda de laguna. Este valor puede ser modificado desde el archivo de configuración de la unidad pero tendrá un valor por defecto de 10. Una vez identificadas las celdas que por su cantidad de oscilaciones indiquen ser parte de alguna laguna, se deben agrupar las celdas que pertenezcan a la misma laguna.

Esto se logra gracias a un proceso de clasificación o “**clustering**”. En el “clustering” se recorre la matriz de cantidad de oscilaciones y cada vez que encuentra una celda con valor mayor al mínimo

permitido se le asigna un identificador de cluster, un valor nuevo si no tiene celdas vecinas a las que ya se les haya asignado cluster, y el valor del cluster de alguna celda vecina si a alguna ya se le asignó cluster. Obtenemos como resultado una grilla en donde todo par de celdas con cantidad de oscilaciones mayor al mínimo permitido y que sean vecinas (horizontal, vertical o diagonalmente), pertenecen al mismo cluster. Ésto nos da como resultado una matriz que representa los clusters creados. Figura 2.15.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	19	19	19	19	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	19	19	19	19	19	0	0	0	0	0	0	0	0	22	22	22	22	0	0
0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	3	22	22	22	22	22	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22	22	22	22	22	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22	22	22	22	22	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	25	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	25	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	27	27	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2.15: Ejemplo de matriz de cluster

Una vez que tenemos identificadas las lagunas ya podemos poner en marcha el proceso de llevar el agua superficial perteniente a la misma a un estado de equilibrio. Llamaremos a este proceso "planchado", esto se logra distribuyendo toda el agua de la laguna (suma de agua superficial de cada una de las celdas pertenecientes a la laguna) de manera tal que la suma de la altura de suelo y altura de agua superficial sea exactamente igual para cada celda perteneciente a una laguna dada.

Este proceso requiere una modificación en el algoritmo de modelado hidrológico. Se agregaron al mismo, el registro de las variaciones por celda y los procesos de *clustering* y el de *planchado*. En la figura 2.16 se puede ver en bloques destacados de color verde las partes agregadas:

- La **actualización de la matriz de variaciones** en cada paso del escurrimiento superficial, registrando para cada celda si hubo una oscilación con respecto al paso anterior.
- Luego de que se terminan de ejecutar los pasos correspondientes al escurrimiento superficial y contando con el registro de la matriz de variaciones, se realiza el proceso de **clustering** para identificación de lagunas.
- Una vez identificadas las lagunas, se realiza el proceso de **planchado** para llevar al equilibrio el agua de cada laguna.

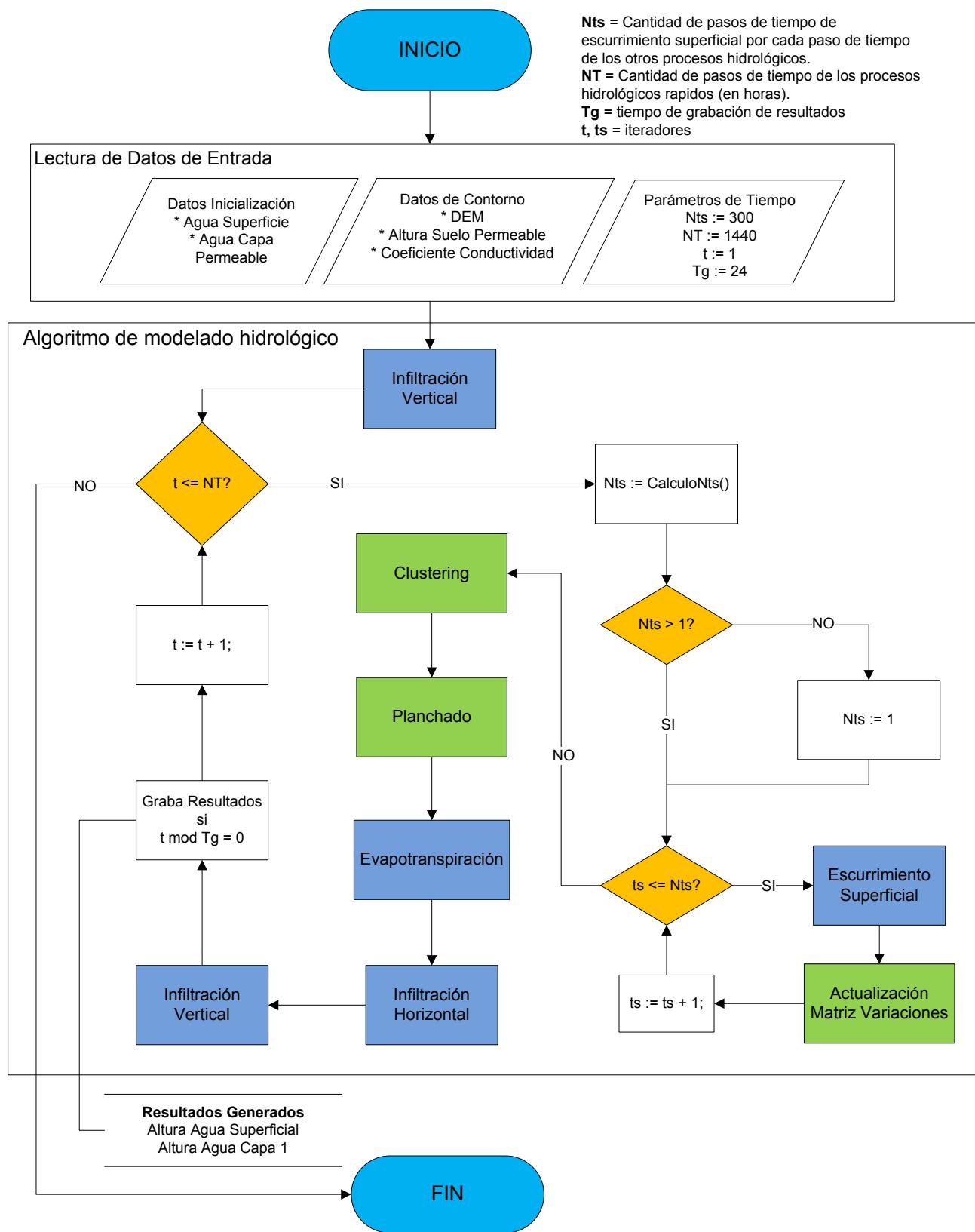


Figura 2.16: Diagrama de Flujo de ejecución para el Algoritmo de Modelado Hidrológico luego de realizadas las modificaciones de estabilización

- **Resultados generados con la solución a oscilaciones y comparaciones con primera implementación:** Una vez implementados los cambios que tienen que ver con el equilibrio de las lagunas (initialmente con agua oscilante) se debe evaluar que los resultados obtenidos son satisfactorios teniendo en cuenta:

- Las **salidas generadas (agua superficial y agua en primera capa del suelo)** muestran resultados cualitativos aceptables, esto significa que no difieren en consideración con los resultados obtenidos en la primera implementación del modelo, estos primeros resultados ya son considerados aceptados.
- El efecto “tablero de ajedrez” no está presente en los resultados.
- La **cantidad de pasos de tiempo de ejecución del proceso de escurrimiento superficial** que se calcula en cada paso grande (paso de evapotranspiración) disminuye considerablemente al transcurrir una cierta cantidad de horas.
- El **tiempo de ejecución de la simulación completa** disminuye notablemente, esto viene implicado por el punto anterior.

Para ver que estos items se cumplen comparamos los resultados de las distintas implementaciones.

A continuación se muestran los resultados de ejecución de la simulación con las distintas implementaciones. Las figuras 2.17(a) y 2.17(b) correspondientes a la primera implementación y a la implementación del modelo mejorada respectivamente, representan el estado del agua superficial sobre terreno luego de transcurridos 1 (rojo), 5 (verde) y 10 (azul) días de ejecución de la simulación. Se puede observar que los resultados obtenidos con la versión mejorada no da el estado de agua exactamente igual, pero observándolo a grandes rasgos da muy similar, por lo que consideramos que este resultado es aceptable.

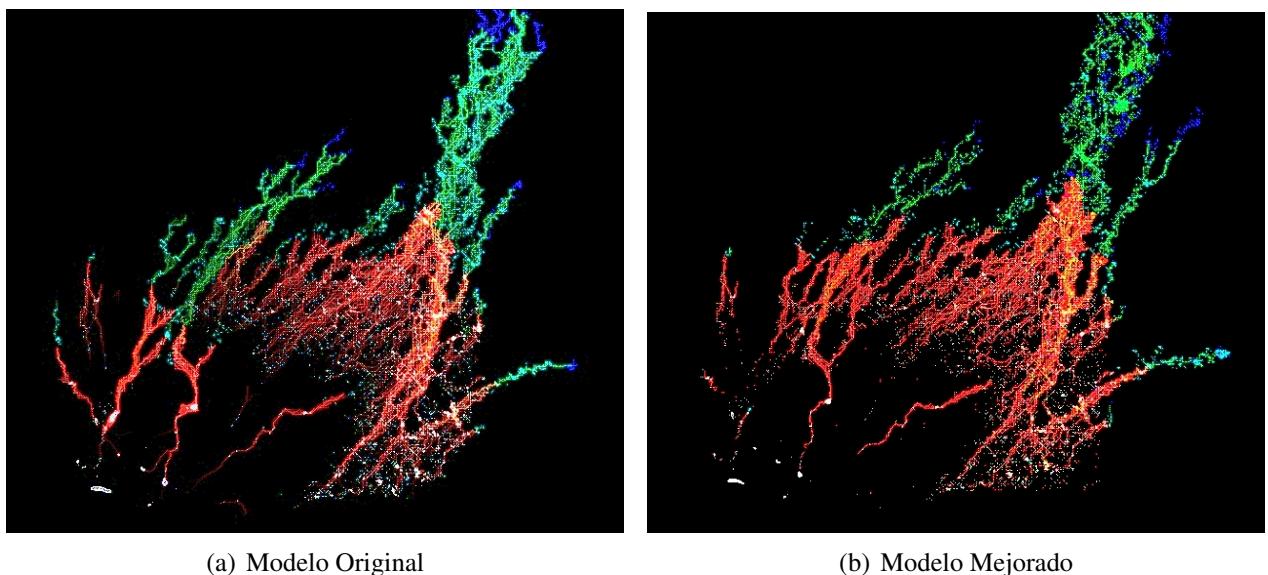


Figura 2.17: Agua en superficie luego de transcurridos 1 (rojo), 5 (verde) y 10 (azul) días de ejecución.

Haciendo una ampliación sobre la zona inferior-izquierda de las figuras antes mencionadas (2.17(a) y 2.17(b)) podemos detenernos y observar el efecto “Tablero de Ajedrez” en la figura 2.18(a) que no se observa en la figura 2.18(b). Esto nos indica que gracias al modificación en el algoritmo de modelado hidrológico este tipo de comportamiento es corregido.

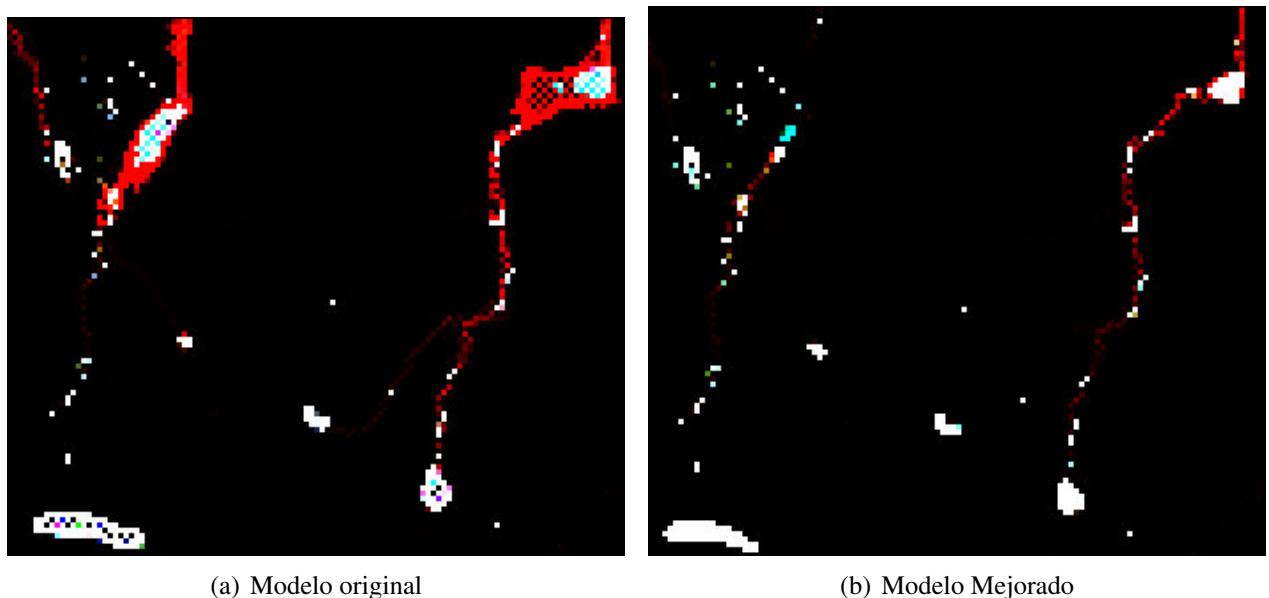


Figura 2.18: Ampliación de salidas generadas en donde se puede observar el efecto “Tablero de Ajedrez”

Para la evaluación de los resultados generados por el algoritmo de modelado hidrológico se simularon 60 días del flujo de agua en la zona de estudio. Recordemos que en cada paso de evapotranspiración se calculan los pasos de escurrimiento superficial que deben efectuarse. Uno de los objetivos fundamentales de la nueva implementación fue el de minimizar esta cantidad de pasos. Luego de las modificaciones en el algoritmo podemos hacer una comparación entre los pasos que se calculaban con la implementación original y la implementación mejorada. Tabla 2.1

Tiempo de ejecución de la simulación [días]	Implementación Original	Nueva Implementación
1	5792	404
6	5259	90
12	4556	27
18	3885	7
24	4480	4
30	3643	0
36	3636	0
42	3622	0
48	3529	0

Tabla 2.1: Comparación de pasos de tiempo de escurrimiento superficial

De igual manera se puede hacer una comparación de los tiempos de ejecución de cada implementación a lo largo de la simulación. Tabla 2.2. Se puede concluir que el tiempo de ejecución total para toda la simulación fue reducido en casi 1 orden de magnitud.

Tiempo de ejecución de la simulación [días]	Implementación Original	Nueva Implementación
1	1 hora 1 minuto	1 hora 1 minuto
6	4 horas 40 minutos	3 horas 30 minutos
12	5 horas 24 minutos	52 minutos
18	5 horas 42 minutos	14 minutos
24	5 horas 47 minutos	11 minutos
30	6 horas 17 minutos	6 minutos
36	6 horas 9 minutos	11 minutos
42	6 horas 12 minutos	3 minutos
48	6 horas 3 minutos	3 minutos
Demora total:	47 horas 15 minutos	5 horas 41 minutos

Tabla 2.2: Comparación de pasos de tiempo de escurrimiento superficial

Capítulo 3

Reingeniería del software del Simulador Hidrológico

3.1. Introducción

En este capítulo se presentará la reingeniería del software aplicada al proyecto de modelado hidrológico para su implementación en una estructura operativa de agencia espacial. Para lograr esto se seguirán los procedimientos descriptos en el trabajo “Procesamiento de imágenes satelitales para generación de productos en entorno automatizado” (Panizzo Zénere, 2009), en la cual se exponen los estándares definidos por la ESA (agencia espacial europea) y la metodología para su implementación.

Los Estándares de Ingeniería del Software de la ESA, ESA PSS-05-0, definen las prácticas de software que deben ser aplicadas en todos los proyectos de tal Agencia. El software es definido bajo estos estándares a través de procedimientos, reglas y toda la documentación pertinente asociada a la operación de sistemas computarizados. Estos estándares afectan a todos los aspectos de software de un sistema, incluyendo sus interfaces con sistemas de hardware y con otros componentes del sistema. El software puede ser un subsistema de un sistema más complejo o puede ser un sistema independiente.

Los documentos que se generarán a lo largo del proceso de ingeniería de software son los que tienen que ver con las siguientes fases:

- Fase UR (User Requirement) - Definición de los requerimientos de usuario
- Fase SR (Software Requirement) - Definición de los requerimientos de software
- Fase AD (Architectural Design) - Definición del diseño arquitectónico
 - Documento de Especificación del Software (SSD - Specification Software Document)
- Fase DD (Detailed Design) - Diseño detallado, producción del código y generación del manual de usuario
- Fase TR (Transferencia) - Transferencia a operaciones (sólo la documentación referente a tests de aceptación)

Algunas de estas fases requieren la interacción de diferentes grupos de personas desempeñando diferentes roles, como por ejemplo los usuarios, revisores de diseño, operadores, etc. Debido a que la realización de este trabajo se hace de manera unipersonal por el alcance del mismo y para desarrollar

y demostrar la habilidad para actuar en cualquiera de estos roles, los diferentes roles son absorbidos por la misma persona, aunque en algunos casos se podría pensar a los tutores de este trabajo como revisores de ciertas fases.

Se aplicarán los estándares para pequeños proyectos propuesto por la ESA ya que nuestro proyecto cumple con los requisitos mínimos que se establecen para ser considerado “pequeño”:

- son necesarios menos de dos años de desarrollo
- un equipo de no más de 5 desarrolladores es requerido
- la cantidad de líneas de código es menor a 10 mil, sin incluir los comentarios

Debido a que en este proyecto no se cuenta con un usuario real como entidad no podemos contar con una fase de transferencia real, asimismo se considera que el documento de Aceptación de Software y su reporte que pertenecen a esta fase son de suma utilidad para evaluar de alguna manera el trabajo realizado. Es por eso que se optó por hacer el papel de usuario para realizar las actividades necesarias de instalación y ejecución de la unidad, de manera tal que se pueda evaluar el funcionamiento del sistema siguiendo los procedimientos descriptos en el Documento de Aceptacion de Software (SVV) y volcando los resultados obtenidos en su correspondiente reporte de ejecución. (SVVR)

Esto nos lleva a la combinación de las fases de requerimientos de software y de diseño de la arquitectura en una sola, por lo tanto nos quedan definidas las siguientes fases:

- Fase UR (User Requirement) - Definición de los requerimientos de usuario
 - Documento de Requerimientos de Usuario (URD - User Requirement Document)
- Fase SS (Software Requirement, Architectural Design) - Definición de los requerimientos de software y Definición del diseño arquitectónico
 - Documento de Especificación del Software (SSD - Software Specification Document)
- Fase DD (Detailed Design) - Diseño detallado y producción del código
 - Documento de Diseño Detallado (DDD - Detailed Design Document)
 - Manual de Usuario del Software (SUM - Software Software User Manual)
 - Plan de Verificación y Validación del Software (SVVP - Software Verification & Validation Plan)
- Fase TR (Transferencia) - Transferencia a operaciones (sólo la documentación referente a tests de aceptación)
 - Reportes de Verificación y Validación del Software (SVVR - Software Verification & Validation Reports)

Se utilizarán los templates simplificados establecidos por las normas para la generación de la documentación asociada a cada fase de este proyecto.

3.2. Fase UR: Definición de los Requerimientos

La fase UR es la “fase de definición del problema” de un proyecto de software. En esta fase debe ser definido el alcance del sistema y deben ser capturados los requerimientos del usuario, los cuales deben ser identificados y documentados en el Documento de Requerimientos de Usuario (URD). (URD, 1995)

Los desastres naturales como las inundaciones ocurren muchas veces de manera inesperada, dando lugar a grandes pérdidas económicas así como vidas humanas. Frente a una emergencia es indispensable actuar con rapidez, la variable tiempo es determinante. Es por eso que al disponer datos como altura y propiedades de los suelos, pronóstico de precipitaciones y un prototipo de un programa que modele el flujo hidrológico se puede diseñar, desarrollar y validar una herramienta que por medio de un algoritmo simule el flujo de agua y sea capaz de predecir el flujo del agua en determinadas zonas, incluyendo así la predicción de posibles inundaciones.

En la siguiente tabla se explicitan los requerimientos de usuario.

ID Requerimiento	Descripción
UR1	Se debe desarrollar un sistema que reproduzca el comportamiento del prototipo del Simulador Hidrológico. Tal prototipo se describe en el apéndice del documento de requerimientos de usuario.
UR2	El sistema debe proveer una interfaz gráfica para que el usuario pueda configurar parámetros de entrada y ejecución, visualizar el estado de la simulación y cancelar la simulación eventualmente.
UR3	En el desarrollo del sistema se debe incluir una modificación en el algoritmo que evite el comportamiento de oscilaciones en lagunas, y que reproduzca resultados cualitativamente aceptables.
UR4	Se debe contar con un archivo de configuración para el simulador hidrológico en donde se puedan establecer parámetros que pudieran cambiar eventualmente (nombres de carpetas y archivos de trabajo, constantes de entorno, etc.)
UR5	Se debe escribir en disco un archivo que contenga el registro de las actividades realizadas por el sistema.
UR6	El sistema debe presentar mejoras en cuanto a eficiencia en tiempo de ejecución de la simulación, en comparación con el prototipo original.
UR7	El sistema debe ser flexible a cambios.
UR8	El desarrollo completo del sistema deberá seguir las normas ESA PSS-05 para pequeños proyectos.

Tabla 3.1: Requerimientos de Usuario

En los requerimientos se menciona el prototipo provisto como punto de partida. Las siguientes características del prototipo se describen en detalle en el apéndice del URD:

- **Desarrollo de código sin tipos abstractos de datos ni modularización:** Se describe el modo de programación.
- **Datos de entrada y salida:** Se describe como son los datos de entrada que toma el prototipo.

- **Algoritmo de modelado hidrológico:** Se describe el algoritmo del programa, en donde tienen lugar lectura de datos de entrada, procesos hidrológicos y escritura de resultados.
- **Interfaz con el usuario:** Modo de ejecución, informe de eventos, etc.
- **Comportamiento de oscilaciones en lagunas:** Se describe un comportamiento no deseado del prototipo.
- **Eficiencia de ejecución:** Se detallan los tiempos de ejecución.

El documento de requerimientos de usuario (URD) exigido por la ESA se incluye como Apéndice A de este trabajo.

3.3. Fase SS: Requerimientos de Software y Diseño Arquitectónico

La fase SR (Software Requirements) es la fase de “análisis” del proyecto de software. Una parte vital de la actividad de análisis es la construcción de un “modelo” describiendo “qué” hace el software, y no “cómo” lo hace (SRD, 1995). El principal entregable de esta fase es el Documento de Requerimientos de Software (SRD). El SRD siempre debe ser producido para todo proyecto de software.

El propósito de la fase AD es definir la estructura del software (ADD, 1995). El punto de partida es el modelo construido en la fase SR. Este modelo es transformado en un diseño arquitectónico asignando funciones a componentes de software y definiendo el flujo de control y de datos entre ellas. Dificultades técnicas o partes críticas del diseño tienen que ser identificadas. Diseños alternativos pueden ser propuestos, uno de los cuales debe ser elegido. El item entregable que constituye la salida formal de esta fase es el Documento de Diseño Arquitectónico (ADD). El ADD será siempre producido para cualquier proyecto de software.

Los estándares requieren que la definición de requerimientos de software y el diseño de la arquitectura sean realizados en fases separadas. Para un proyecto de software pequeño, las revisiones del SRD y el ADD por separado pueden alargar los tiempos significativamente (ESA, 1996). Una forma eficiente de organizar el proyecto es entonces combinar las fases SR y AD en una sola fase que llamaremos de Especificación de Software (SS - Software Specification).

Los desarrolladores deben combinar los documentos SRD y ADD en un mismo Documento de Especificación del Software (SSD - Software Specification Document). (Panizzo Zénere, 2009)

Por lo tanto, posteriormente al desarrollo del documento de Requerimientos de Usuario, se procede a la interpretación de éstos para avanzar hacia la definición de los requerimientos de software y del modelo lógico que cubran lo definido en la Fase UR.

3.3.1. El Modelo Lógico

La figura 2.11 representa el modelo lógico del sistema de simulación hidrológica. Este diagrama nos muestra las entradas que se leerán al inicio de la ejecución.

El primer proceso que tiene lugar es el de *Infiltración Vertical*. Luego, el programa entra en un ciclo de ejecución de NT pasos equivalentes a NT horas de simulación.

Por cada uno de estos pasos, se ejecuta una vez cada uno de los procesos de *Evapotranspiración*, *Infiltración Horizontal* e *Infiltración Vertical*; y se ejecuta Nts veces el proceso de *Escurrimiento Superficial*.

El valor Nts es calculado en cada paso de ejecución grande, ya que depende de valores de flujo de agua superficial.

Las partes del sistema destacadas en color verde fueron incluidas para la corrección de problemas de oscilaciones en cubetas o lagunas.

El sistema generará una salida con el estado del agua superficial y del agua de la primera capa del suelo o capa permeable cada Tg horas.

Una vez que se haya completado la ejecución del algoritmo durante NT pasos de tiempo (en el caso del diagrama $NT = 1440$, equivalente a 60 días) se finaliza la ejecución.

3.3.2. Requerimientos de Software

Los requerimientos de software se encuentran definidos en el SSD (Software Specification Document) que constituye el Apéndice B de este trabajo.

3.3.3. Diseño Arquitectónico

Partiendo del modelo lógico y de los requerimientos de software se diseña una arquitectura modular para el sistema. Esta arquitectura contempla dos subsistemas:

- **El Subsistema de Control:** es el cerebro del sistema. Provee el componente encargado de interactuar con el usuario, mediante el cual se leen los parámetros de configuración y se determinan los parámetros de ejecución. Con estos parámetros de ejecución el componente “Controlador de Ejecución de Procesos”, se encarga de determinar la secuencia de ejecución de los distintos procesos hidrológicos. Al mismo tiempo contiene los repositorios de datos de entrada y salida donde serán leídos los datos de entrada como también escritos los archivos de resultados generados por el procesamiento.
- **El Subsistema de Procesos Hidrológicos:** agrupa los componentes encargados de aplicar los procesos hidrológicos que tienen lugar en el conjunto de datos de la región de observación. Los procesos que tiene lugar son: *Infiltración Vertical*, *Escurrimiento Superficial*, *Clustering* y *Planchado*, *Evapotranspiración* e *Infiltración Horizontal*.

La figura 3.1 muestra la separación del sistema en subsistemas y los componentes de cada subsistema. La definición completa de la arquitectura al igual que las interfaces entre las componentes se encuentran en el Documento de Especificación del Software (SSD), el cual constituye el **Apéndice B** de este trabajo.

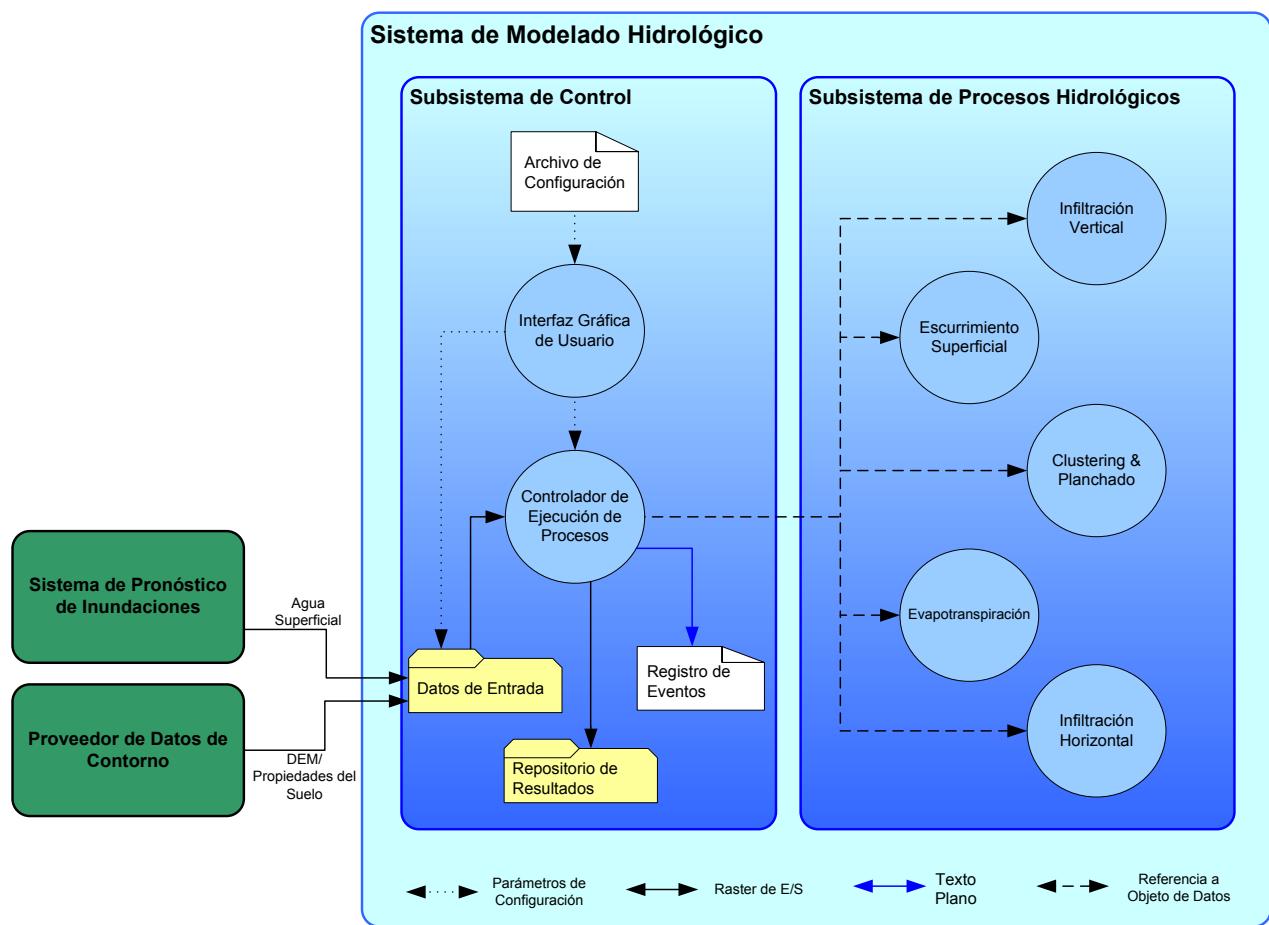


Figura 3.1: Diagrama de Arquitectura del sistema de modelado hidrológico.

3.4. Fase DD: Diseño Detallado e Implementación

El propósito de la fase DD es detallar el diseño del software, codificarlo y testearlo (DDD, 1995).

El Documento de Diseño Detallado (DDD) y el Manual de Usuario del Software (SUM) son producidos concurrentemente con el código y el testeо de la unidad. Inicialmente, el DDD y el SUM contienen las secciones correspondientes a los niveles más altos del sistema. Mientras que el diseño progresó a niveles más bajos, las subsecciones correspondientes fueron agregadas. Los tests de aceptación serán indicados en el SVVP (Software Verification & Validation Plan). Al final de la fase, los documentos son completados y, con el código, constituyen los entregables de esta fase. Al final de este proceso el software puede ser declarado listo para los testeos de aceptación. (Panizzo Zénere, 2009)

Debido a que el Simulador Hidrológico es en sí mismo una unidad de software, el diseño detallado que se describe se corresponde con el del sistema en sí mismo, descrito en el documento de Especificación de Software (Apéndice B).

3.4.1. Diseño del Simulador Hidrológico

El Documento de Diseño Detallado exhibe los diagramas de clases y de secuencia de ejecución, necesarios para la etapa de implementación de la unidad (Apéndice C). Se relevó el prototipo provisto como punto de partida y se reflejó esta información en la descripción de los componentes mediante

el uso de diagramas de flujo que definen el comportamiento de cada rutina de programación, proceso y módulo del nuevo Simulador Hidrológico. Además se incluyó la descripción de los procesos que tienen lugar en la nueva implementación del simulador.

A modo de ejemplo, se puede observar que la Figura 2.16 se corresponde con el diagrama de flujo del componente que se encarga del control de la ejecución de procesos del Documento de Diseño Detallado.

En el diagrama de clases se puede ver reflejada la utilización del diseño orientado a objetos basado en la ocultación de la información. Para la implementación de la unidad se utilizó el lenguaje de programación orientado a objetos C# para el cual se dispone un cómodo entorno de desarrollo que permite agilidad en la tarea de implementación de la aplicación.

3.4.2. Manual de Usuario del Software

En el Apéndice E se encuentra el Manual de Usuario del Software, en el que se detalla como debe utilizarse la unidad Simulador de Inundaciones. En el mismo se describe en detalle:

- **Instalación y desinstalación:** Descripción de los pasos a seguir en cada instancia.
- **Configuración:** Descripción del formato del archivo de configuración, de las variables y de los valores permitidos para configuración.
- **Modo de operación:** descripción de las ventanas que sirve de interfaz con el usuario.
- **Ejemplo:** Resultados obtenidos luego de la ejecución que se puede realizar con los datos de entrada que se proveen por defecto con la instalación.

3.4.3. Documento de Plan de Verificación y Validación

En el Apéndice D se adjunta el Documento del Plan de Verificación y Validación del Software. En el mismo se describe cada una de las partes del procedimiento de pruebas, como se debe proceder para la ejecución de pruebas y la matriz de trazabilidad entre requerimientos funcionales y procedimientos de prueba.

3.5. Fase TR: Transferencia

El propósito de esta fase es establecer que la implementación de la unidad y por consiguiente, su diseño, satisfacen los requerimientos de software y luego, los de usuario. Esto es llevado a cabo instalando el software y realizando los test de aceptación. Cuándo el software ha demostrado que provee las capacidades requeridas, puede ser aceptado. (Panizzo Zénere, 2009)

Como documentación de aceptación se genera el documento de Reportes de V&V, el cual sigue el esquema del Plan de V&V en donde se completa la información correspondiente a la ejecución de los test de aceptación.

3.5.1. Documento de Reportes de Verificación y Validación

En el Apéndice F se adjunta el Documento de Reporte de Verificación y Validación del Software. Contiene los reporte de ejecución de cada uno de los procedimientos de prueba que satisfacen los requerimientos funcionales y una sección de Revisión de Diseño, en la cual se explica como se cumple un requerimiento de diseño haciendo un análisis del diseño de arquitectura propuesto para el sistema.

Conclusiones

4.1. Conclusiones de este trabajo

Como resultado del trabajo realizado se pudo desarrollar una implementación del Simulador Hidrológico que además de satisfacer todos los requerimientos planteados, presenta notables mejoras con respecto al prototipo provisto, el cual se tomó como punto de partida al comienzo del trabajo.

Se puede destacar:

- **Versatilidad:** Las funcionalidades operativas que se ofrecen con respecto a la elección de la zona observada permite el análisis de los procesos hidrológicos en regiones elegidas por el operador, siempre disponiendo previamente de toda la información necesaria para la simulación (datos de contorno, etc.)
- **Distribución:** Dado que cuenta con un instalador, interfaz gráfica amigable y manual de usuario, permite la distribución de la aplicación a diversos usuarios.
- **Mantenibilidad:** El diseño detallado de la unidad y toda la documentación asociada permite comprender mejor la implementación realizada. La modularización de tal diseño permite una fácil modificabilidad de la unidad sin que tenga impacto en demasiadas partes del código fuente. Esto último es muy importante debido a la inherente existencia de probables futuros cambios.
- **Calidad:** Se llevó a cabo la ejecución de procesos de software en el marco de las normas de ESA que se aplican en CONAE, los cuales aseguran la calidad gracias a los estándares y documentación asociada propuesta.
- **Eficiencia** Las correcciones requeridas en el modelo hidrológico con respecto a las oscilaciones de tipo “tablero de ajedrez” permite mejorar la eficiencia considerablemente con respecto al prototipo, este factor es de suma importancia, ya que al tratarse de un simulador que puede predecir inundaciones, toda ganancia en tiempo de ejecución es de sumo valor para el usuario que analiza algún escenario en particular. Las comparaciones de las distintas versiones del simulador se puede ver en la Tabla 2.1

4.2. Trabajo a futuro

Durante el desarrollo de este trabajo fueron surgiendo ideas sobre trabajo a futuro que se podría realizar sobre el Simulador Hidrológico, a continuación se listan algunas de ellas:

- **Visualizacion gráfica y en tiempo de ejecucion del estado de la simulación:** Puede ser en 2D o 3D, se podrían especificar ciertas áreas del total de la zona elegida, se podría hacer una gráfica de la evolución del tiempo para determinadas zonas o puntos.
- **Presentacion de resultados finales:** Se podría evaluar un reporte de manera automática como conclusión de la simulación, podría detectar y avisar sobre una “zona inundada” a partir de cierta cota superior en determinadas zonas elegidas por el operador.
- **Pausado de la simulación:** Se podría pausar eventualmente y reanudar si el operador lo decidiera.
- **Lectura variable de los datos de entrada:** En la implementación actual, el agua que entra al modelo por medio de las precipitaciones sólo es leída al comienzo de la simulación, un eventual cambio podría ser tener en cuenta esta entrada como variable y que sea leída con cierta frecuencia para simular ocurrencia de otras precipitaciones. Lo mismo ocurre con el coeficiente de evaporación, en esta implementación es fijo para toda la simulación, pero este valor puede variar en el tiempo.
- **Incorporacion de canales a la zona de observación:** Esto incluiría modificaciones en el modelo, para incluir cursos de agua permanente (rios, arroyos, etc.).

Bibliografía

- ADD. *Guide to the software architectural design phase.* ESA Board for Software Standardisation and Control., 1995.
- J Baragallo. Las áreas anegables de la pampa deprimida. un planteo agro hidrológico para su solución. *Coloquio internacional sobre hidrología de grandes llanuras, Olavarría, Argentina,* 1983.
- P. D. Bates y A. P. J. De Roo. *A simple raster-based model for flood inundation simulation. J. Hydrol.* 236. 2000.
- Agustín Felipe Breña Puyol y Marco Antonio Jacobo Villa. *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial.* Universidad Autónoma Metropolitana de México, 2006.
- Ven Te Chow, David R. Maidment, y Larry W. Mays. *Hidrología Aplicada.* 1994.
- DDD. *Guide to the software detailed design and production phase.* ESA Board for Software Standardisation and Control., 1995.
- Estefania Aylen De Elia. Planificación de imágenes satelitales aplicada a modelos hidrológicos de alerta temprana. Tesis de Maestría, Instituto de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich Comision Nacional de Actividades Espaciales, 2011.
- ESA. *Guide to applying the ESA software engineering standars to small software projects.* ESA Board for Software Standardisation and Control., 1996.
- Carlo Ghezzi. *Programming language concepts.* 1998.
- Chang H.C. Lee, I.S. y L. Ge. Gps campaigns for validation of insar derived dems. *journal of global positioning systems.vol. 4., páginas 82–87,* 2005.
- Sergio Masuelli, Pablo M. Vázquez, Gabriel R. Platzeck, y Daniel Barrera. Adecuación del dem del strm de 90 metros para usos hidrológicos en llanuras. 2006.
- Mirko Panozzo Zénere. Procesamiento de imágenes satelitales para generación de productos en entorno automatizado. 2009.
- Marta del Carmen Paris, Graciela Viviana Zucarelli, y María Fernanda Pagura. *Las miradas del agua.* 2009.
- C. Posadas. La solución al problema de las inundaciones y desagües en la provincia de buenos aires. *Ministerio de Obras Públicas, La Plata, Argentina,,* 1934.

J. Sala. La problemática en las investigaciones geohidrológicas en grandes llanuras con escasa información. *Coloquio internacional sobre hidrología de grandes llanuras, Olavarría, Argentina*, página 21, 1983.

SRD. *Guide to the software requirements definition phase*. ESA Board for Software Standardisation and Control., 1995.

J. Tricart. La geomorfología de la pampa deprimida como base para los estudios edáficos y agronómicos. *Ed. INTA, Colección científica XII, Buenos Aires, Argentina*,, página 198, 1973.

URD. *Guide to the user requirements definition phase*. ESA Board for Software Standardisation and Control., 1995.

Pablo Vazquez, Sergio Masuelli, Gabriel Platzeck, y Olver Boolsen. Recurrencia de anegamiento en la pampa deprimida, provincia de buenos aires. subcuenca b4. 2011.

Pablo M. Vázquez, Sergio Masuelli, Gabriel R. Platzeck, y Daniel Barrera. Modelo hidrológico con uso intensivo de información satelital para la subcuenca b4 del río salado bonaerense. 2006.

Apéndice

A

Documento de Requerimientos de Usuario

User Requirement Document (URD)

Simulador Hidrológico
(Spanish Version)

01/02/2013

Author: Cristian Guerrero Córdova

Revisión: 1.0

User Requirement Document (URD)

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor

User Requirement Document (URD)

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	<i>PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO</i>	4
1.2	<i>ALCANCE DEL SOFTWARE</i>	4
1.3	<i>DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</i>	4
1.4	<i>REFERENCIAS</i>	4
1.5	<i>RESUMEN DEL DOCUMENTO</i>	4
2	DESCRIPCIÓN GENERAL	4
2.1	<i>PERSPECTIVA DEL PRODUCTO</i>	4
2.2	<i>APTITUDES GENERALES</i>	5
2.3	<i>RESTRICCIONES GENERALES</i>	5
2.4	<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS USUARIOS</i>	5
2.5	<i>ENTORNO OPERACIONAL</i>	5
3	REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	5
3.1	<i>REQUERIMIENTOS DE CAPACIDADES</i>	6
3.2	<i>REQUERIMIENTOS DE RESTRICCIÓN</i>	6
4	APÉNDICE 1: DESCRIPCIÓN DE PROTOTIPO DEL SIMULADOR HIDROLÓGICO.....	7
4.1	<i>DESARROLLO DE CÓDIGO SIN TIPOS ABSTRACTOS DE DATOS NI MODULARIZACIÓN</i>	7
4.2	<i>DATOS DE ENTRADA Y SALIDA</i>	7
4.3	<i>ALGORITMO DE MODELADO HIDROLÓGICO</i>	7
4.4	<i>INTERFAZ CON EL USUARIO</i>	8
4.5	<i>COMPORTAMIENTO DE OSCILACIONES EN LAGUNAS.</i>	9
4.6	<i>DURACIÓN DE EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN</i>	9

User Requirement Document (URD)

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe formalmente los requerimientos de usuario del *sistema* de simulación hidrológico, el cual determinará zonas deforestadas a partir de un análisis multi-temporal de imágenes Landsat.

1.2 Alcance del software

El sistema de Modelado Hidrológico utilizará datos de elevación de suelo, propiedades y características del terreno y pronóstico de inundaciones para determinar con anticipación el flujo del agua y así poder anticiparse a posibles inundaciones.

1.3 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción

1.4 Referencias

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
RD.1	Modelo hidrológico con uso intensivo de información satelital para la subcuenca B4 del Río Salado Bonaerense.	2006	Pablo M. Vázquez Sergio Masuelli Gabriel R. Platzek Daniel Barrera

1.5 Resumen del documento

En el capítulo 2 se verá una descripción general del producto y la idea principal sobre la que se basa el sistema. Se contemplarán las aptitudes y restricciones del producto, como así también la perspectiva del mismo.

En el capítulo 3 se detallarán los requerimientos del sistema.

2 Descripción General

El requerimiento principal de este sistema es simular con anticipación el flujo del agua en un área determinada, para poder así, predecir posibles inundaciones. Las salidas generadas también pueden servir como análisis del área elegida.

2.1 Perspectiva del producto

No se observa la posibilidad de separar en unidades diferentes la ejecución de distintos procesos hidrológicos debido al impacto que esto pueda tener a nivel de eficiencia, además que la generación de los productos de resultados tienen más que ver con la ejecución de la simulación en períodos largos de tiempo y no solo de separar distintos procesamientos de los datos. La generación de productos intermedios, por ejemplo luego de una *infiltración vertical*,

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 01-02-2013

Version: 1.0

User Requirement Document (URD)

no tiene mucho sentido por lo tanto estos solo son resultados temporarios manejados a nivel de memoria.

2.2 Aptitudes generales

El software deberá ser modularizado de manera tal que en caso que se necesite hacer modificaciones sobre alguno de los procesos hidrológicos, los cambios necesarios no impacten en otros módulos de software, por lo tanto solo comparten un tipo abstracto en común, que es el que consta de la información necesaria para la ejecución de cada uno de los procesos. El software además permite la flexibilidad de elegir distintos datos de entrada y combinarlos entre sí para evaluar distintos escenarios de simulación. Eso sí, se deben corresponder con la misma área de observación

2.3 Restricciones generales

El software deberá ser desarrollado de acuerdo a los estándares ESA PSS-05 para pequeños proyectos.

2.4 Características de los usuarios

Para la operación del sistema bastará con usuarios con conocimientos avanzados en operación de computadoras, debido a la sencillez de operación del sistema. Para el posterior análisis de los resultados generados y determinación de conclusiones se necesita personal con conocimientos en el área de procesamiento de imágenes satelitales.

2.5 Entorno operacional

El entorno operacional para el que se piensa el sistema es un lugar en donde eventualmente, se actualice cierta información fundamental para la ejecución como las propiedades del suelo por ejemplo, y la recepción bastante frecuente de pronósticos de lluvia oficiales, para aprovechar al máximo la generación de resultados que puedan predecir una posible inundación en el área de observación.

3 Requerimientos específicos

Esta sección describe todos los requerimientos de usuario del sistema de detección de deforestaciones. Cada requerimiento es priorizado de la siguiente manera:

- M (Mandatory Requirement) Requerimiento obligatorio. Las características deben estar incluidas en el sistema final.
- D (Desirable Requirement) Requerimiento deseable. Las características deberían estar incluidas en el sistema final a menos que su costo sea realmente alto.
- O (Optional Requirement) Requerimiento opcional. Las características podrían ser incluidas en el sistema final dependiendo de la voluntad del Project Manager.
- E (Possible Requirement Enhancement) Mejoramientos posibles. Características descriptas en este documento con la finalidad de que no se pierdan tales ideas. La

User Requirement Document (URD)

decisión de cuándo incluirlas en el sistema dependerá del avance de los requerimientos obligatorios.

3.1 Requerimientos de Capacidades

UR ID	Descripción	Prioridad
UR.1	Se debe desarrollar un sistema que reproduzca el comportamiento del prototipo del Simulador Hidrológico descripto en el Apéndice 1 .	M
UR.2	El sistema debe proveer una interfaz gráfica para que el usuario pueda configurar parámetros de entrada y ejecución, visualizar el estado de la simulación y cancelar la simulación eventualmente.	M
UR.3	En el desarrollo del sistema se debe incluir una modificación en el algoritmo que evite el comportamiento de oscilaciones en lagunas, descripto en la Sección 4.5 del Apéndice 1 y que reproduzca resultados cualitativamente aceptables.	M
UR.4	Se debe contar con un archivo de configuración para el simulador hidrológico en donde se puedan establecer parámetros que pudieran cambiar eventualmente (nombres de carpetas y archivos de trabajo, constantes de entorno, etc.)	M
UR.5	Se debe escribir en disco un archivo que contenga el registro de las actividades realizadas por el sistema.	M
UR.6	El sistema debe presentar mejoras en cuanto a eficiencia en tiempo de ejecución de la simulación, en comparación con el prototipo original.	M
UR.7	El sistema debe ser flexible a cambios.	M

3.2 Requerimientos de Restricción

UR ID	Descripción	Prioridad
UR.8	El desarrollo completo del sistema deberá seguir las normas ESA PSS-05 para pequeños proyectos.	M

4 Apéndice 1: Descripción de prototipo del simulador hidrológico

Luego de un relevamiento y análisis se describe la implementación del prototipo original del simulador hidrológico.

4.1 Desarrollo de código sin tipos abstractos de datos ni modularización

La primera implementación del código fuente del modelo de inundaciones fue desarrollada en el lenguaje de programación C. Dado que el objetivo en el momento de su implementación era, principalmente, la generación de resultados cualitativos, su posterior evaluación y pruebas al respecto, todo el código fuente, desde la lectura de los datos de entrada, el algoritmo de modelado hidrológico y la escritura de los resultados se encuentra en un solo archivo de texto y en una sola rutina de ejecución.

Debido a que la implementación está en un solo archivo de texto y que en C se usa un archivo como unidad de modularidad física, implica que no existe tal tipo modularidad, además no tiene rutinas ni definición de tipos abstractos de datos, por lo tanto no se provee tampoco modularidad lógica. Los tipos de datos usados fueron los nativos que provee el lenguaje.

4.2 Datos de entrada y salida

Tanto los datos de entrada como los de salida son archivos binarios de punto flotante de igual dimensión. Estos archivos son analizados normalmente mediante el programa ENVI, por lo que no requieren de ningún tratamiento para su apertura con este programa. Las dimensiones son 913 x 584 píxeles.

4.3 Algoritmo de modelado hidrológico

Para la ejecución de la simulación se utilizó el algoritmo expuesto en la Figura 4.2.1 teniendo en cuenta:

- **Lectura de datos de entrada:** En este paso del algoritmo se cargan todos los datos de entrada:
 - **Condiciones de contorno:**
 - Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación.
 - Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable.
 - Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable.
 - **Condiciones iniciales de ejecución:**
 - Altura de agua de la capa permeable.
 - Altura de agua sobre la superficie.
- **Procesos Hidrológicos:** Destacados de color celeste. En cada de esta etapa del algoritmo tiene lugar el proceso hidrológico mencionado.
- **Escritura de Resultado:** La altura del agua superficial y la altura de la capa permeable son escritas en disco cada cierta cantidad de horas. Los nombres de los archivos de salida son:
 - AguaSuperficie[N]
 - AguaCapa1_[N]

User Requirement Document (URD)

Donde [N] es el número de salida generada. Dado por el período de grabación y la cantidad de horas de simulación.

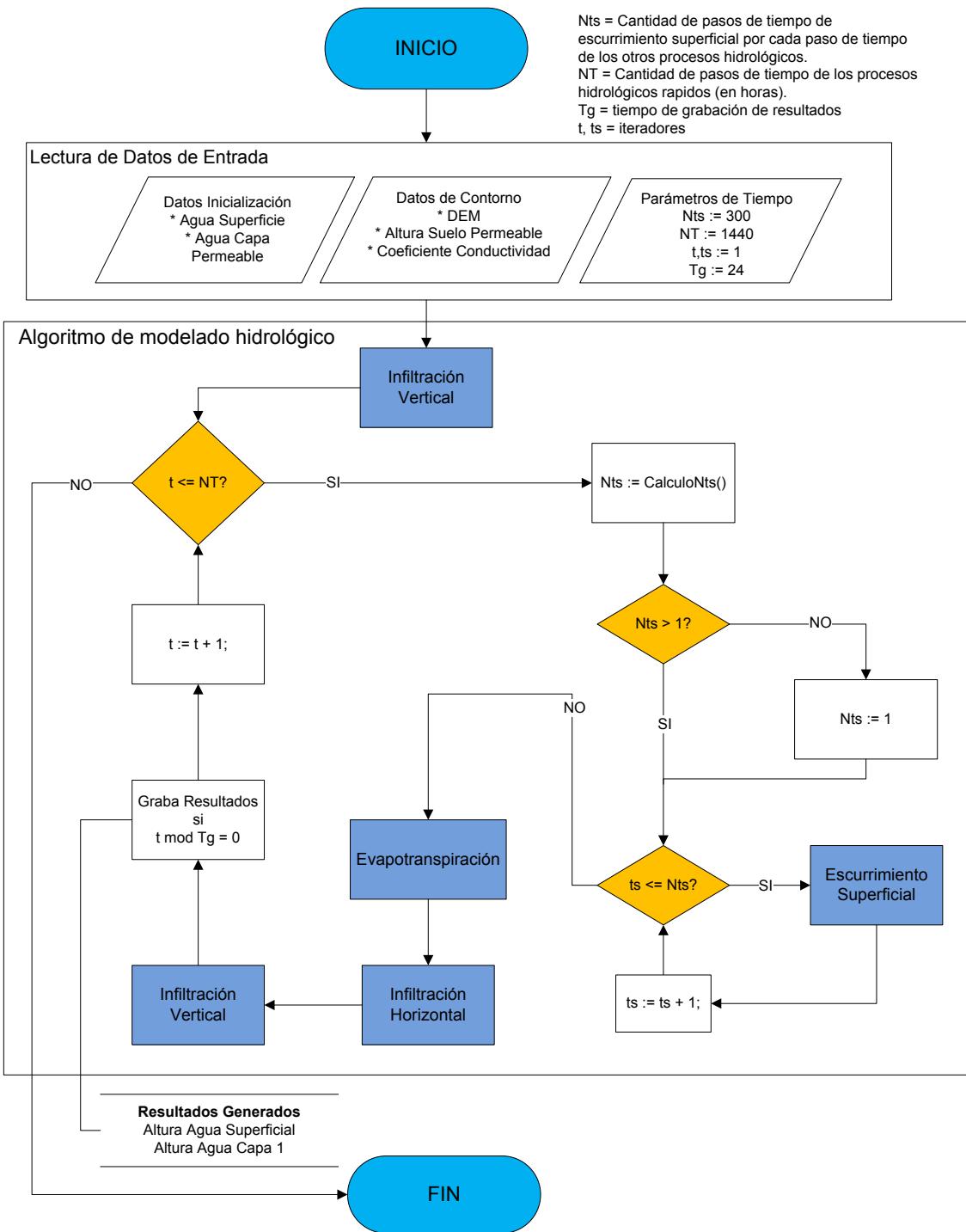


Figura 4.2.1: Modelo lógico de ejecución para el Algoritmo de Modelado Hidrológico

4.4 Interfaz con el usuario

Características de la interfaz con el usuario:

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 01-02-2013

Version: 1.0

User Requirement Document (URD)

- El modo de ejecución es por línea de comando. La ejecución del programa es llamada con el nombre del archivo ejecutable y parámetros indicando la ruta de lectura de datos de entrada. No dispone de interfaz gráfica.
- La ubicación y el nombre de los archivos que indican los datos de inicialización y de contorno son fijos, es decir, se encuentran “hardcodeados” en el código fuente del programa, así como los parámetros de tiempo.
- Registro de eventos y/o errores por terminal de consola.

4.5 Comportamiento de oscilaciones en lagunas.

El área de estudio elegida es una zona mixta, es decir posee áreas de montañas y otras de llanuras. Estas últimas, además, contienen numerosas depresiones que ante eventuales precipitaciones dan lugar a cubetas de agua o lagunas, varias de las cuales permanecen durante varios días. Esta mezcla de diferentes relieves hace que para el caso del escurrimiento superficial la escala temporal sea muy variable, pues depende de la altura de la capa de agua en la superficie y de la pendiente del terreno, ambos altamente variables tanto temporal como espacialmente.

Las oscilaciones tipo en lagunas provocadas por pasos de tiempo grandes, suelen tener lugar en zonas de lagunas de cierta profundidad, las cuales se extienden y amplían rápidamente haciendo inútil la simulación para esas regiones confinadas. El paso de tiempo necesario para estabilizar las soluciones para estas regiones resulta ser demasiado pequeño y tiene como consecuencia la aparición de errores de representación en la simulación a causa del truncamiento numérico en zonas muy llanas, además de tornar el modelo ineficiente computacionalmente.

4.6 Duración de ejecución de la simulación

Para 48 días de simulación se obtuvieron los siguientes tiempos de ejecución en intervalos cada 6 días.

Días de ejecución	Duración de la simulación entre dos períodos
1	1 hora 1 minuto
6	4 horas 40 minutos
12	5 horas 24 minutos
18	5 horas 42 minutos
24	5 horas 47 minutos
30	6 horas 17 minutos
36	6 horas 9 minutos
42	6 horas 12 minutos
48	6 horas 3 minutos
Duración total de la ejecución	47 horas 15 minutos

Apéndice **B**

Documento de Especificación de Software

Software Specification Document (SSD)

Simulador Hidrológico
(Spanish Version)

08/02/2013
Author: Cristian Guerrero Córdova
Revisión: 1.0

Software Specification Document (SSD)

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
AD.1	User Requirement Document – Modelado de Simulación Hidrológica	01-02-13	Cristian Guerrero Córdova

Software Specification Document (SSD)

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	<i>PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO</i>	5
1.2	<i>ALCANCE DEL SOFTWARE</i>	5
1.3	<i>DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</i>	5
1.4	<i>REFERENCIAS</i>	5
1.5	<i>RESUMEN DEL DOCUMENTO</i>	5
2	DESCRIPCIÓN DEL MODELO LÓGICO	6
3	REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	7
3.1	<i>REQUERIMIENTOS FUNCIONALES</i>	7
3.1.1	<i>Algoritmo de ejecución (SR.1)</i>	7
3.1.2	<i>Lectura de datos de entrada (SR.2)</i>	7
3.1.3	<i>Registro de Actividades (SR.3)</i>	8
3.1.4	<i>Generación de resultados (SR.4)</i>	8
3.2	<i>REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE (SR.5)</i>	8
3.3	<i>REQUERIMIENTOS DE INTERFACES (SR.6)</i>	8
3.4	<i>REQUERIMIENTOS OPERACIONALES</i>	9
3.4.1	<i>Interfaz gráfica y archivo de configuración (SR.7)</i>	9
3.5	<i>REQUERIMIENTOS DE DISEÑO (SR.8)</i>	9
4	DISEÑO ARQUITECTÓNICO	9
4.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	9
5	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES.....	10
5.1	<i>COMPONENTE #1: INTERFAZ GRÁFICA CON EL USUARIO</i>	10
5.1.1	<i>Tipo</i>	10
5.1.2	<i>Propósito</i>	11
5.1.3	<i>Función</i>	11
5.1.4	<i>Subordinados</i>	11
5.1.5	<i>Dependencias</i>	11
5.1.6	<i>Interfaces</i>	11
5.1.7	<i>Recursos</i>	12
5.2	<i>COMPONENTE #2: CONTROLADOR DE EJECUCIÓN DE PROCESOS</i>	12
5.2.1	<i>Tipo</i>	12
5.2.2	<i>Propósito</i>	12
5.2.3	<i>Función</i>	12
5.2.4	<i>Subordinados</i>	12
5.2.5	<i>Dependencias</i>	13
5.2.6	<i>Interfaces</i>	13
5.2.7	<i>Recursos</i>	13
5.3	<i>COMPONENTE #3: INFILTRACIÓN VERTICAL</i>	13

Software Specification Document (SSD)

5.3.1	<i>Tipo</i>	13
5.3.2	<i>Propósito</i>	13
5.3.3	<i>Función</i>	13
5.3.4	<i>Subordinados</i>	13
5.3.5	<i>Dependencias</i>	13
5.3.6	<i>Interfaces</i>	14
5.3.7	<i>Recursos</i>	14
5.4	<i>COMPONENTE #4: ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL</i>	14
5.4.1	<i>Tipo</i>	14
5.4.2	<i>Propósito</i>	14
5.4.3	<i>Función</i>	14
5.4.4	<i>Subordinados</i>	14
5.4.5	<i>Dependencias</i>	14
5.4.6	<i>Interfaces</i>	14
5.4.7	<i>Recursos</i>	15
5.5	<i>COMPONENTE #5: CLUSTERING & PLANCHADO</i>	15
5.5.1	<i>Tipo</i>	15
5.5.2	<i>Propósito</i>	15
5.5.3	<i>Función</i>	15
5.5.4	<i>Subordinados</i>	15
5.5.5	<i>Dependencias</i>	15
5.5.6	<i>Interfaces</i>	15
5.5.7	<i>Recursos</i>	16
5.6	<i>COMPONENTE #6: EVAPOTRANSPIRACIÓN</i>	16
5.6.1	<i>Tipo</i>	16
5.6.2	<i>Propósito</i>	16
5.6.3	<i>Función</i>	16
5.6.4	<i>Subordinados</i>	16
5.6.5	<i>Dependencias</i>	16
5.6.6	<i>Interfaces</i>	16
5.6.7	<i>Recursos</i>	17
5.7	<i>COMPONENTE #7: INFILTRACIÓN HORIZONTAL</i>	17
5.7.1	<i>Tipo</i>	17
5.7.2	<i>Propósito</i>	17
5.7.3	<i>Función</i>	17
5.7.4	<i>Subordinados</i>	17
5.7.5	<i>Dependencias</i>	17
5.7.6	<i>Interfaces</i>	17
5.7.7	<i>Recursos</i>	18
6	MATRIZ DE TRAZABILIDAD: REQUERIMIENTOS DE USUARIO VERSUS REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE	18
7	MATRIZ DE TRAZABILIDAD: REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE VERSUS COMPONENTES	19

Software Specification Document (SSD)

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe los requerimientos de software y el diseño arquitectónico a ser usado para la el desarrollo del sistema de modelado de simulación hidrológica.

Especifica las operaciones a ser realizadas en términos funcionales e incluye una definición a nivel de clases y funciones. Este documento pretende proveer información sobre el diseño general para la siguiente fase de codificación y desarrollo, i.e. diseño detallado e implementación.

1.2 Alcance del software

El sistema de Modelo de Simulación Hidrológica utilizará datos de elevación de suelo, propiedades y características del terreno y pronóstico de inundaciones para determinar con anticipación el flujo del agua y así poder anticiparse a posibles inundaciones.

1.3 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción

1.4 Referencias

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
RD.1	Modelo hidrológico con uso intensivo de información satelital para la subcuenca B4 del Río Salado Bonaerense.	2006	Pablo M. Vázquez Sergio Masuelli Gabriel R. Platzeck Daniel Barrera

1.5 Resumen del documento

En el capítulo dos se describe el modelo lógico del sistema. Este modelo es creado a partir de la interpretación de los requerimientos de usuarios establecidos por el URD (AD.1).

En el capítulo tres se detallan los requerimientos de software para el sistema, se incluyen los requerimientos funcionales, operacionales, de interfaces y de portabilidad.

El capítulo cuatro describe la arquitectura diseñada para el sistema completo. En él se describe cada uno de los subsistemas y se muestra el gráfico que representa al sistema como un conjunto de estos subsistemas las unidades que los componen.

El capítulo cinco brinda una descripción detallada de cada uno de los componentes del sistema, describiendo cual es la función de cada unidad y cuáles son sus interfaces con el resto de los componentes.

Los capítulos seis y siete contienen las matrices de trazabilidad de Requerimientos de Usuario versus Requerimientos de software y de Requerimientos de Software versus Componentes de Software, respectivamente.

2 Descripción del Modelo Lógico

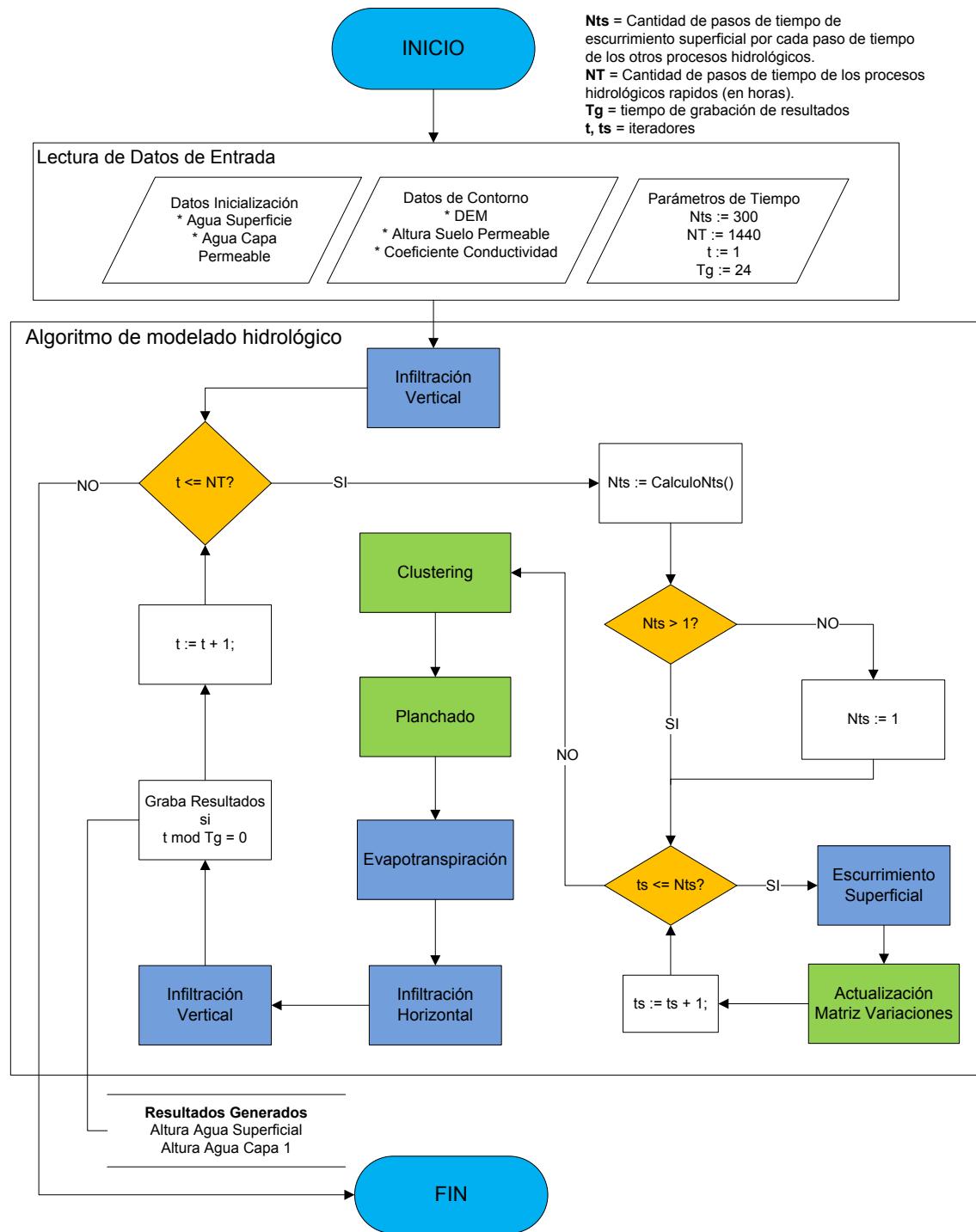


Figura 1 – Modelo lógico

En la figura 1 observamos el modelo lógico del sistema de simulación hidrológica. Este diagrama nos muestra las entradas que se leerán al inicio de la ejecución.

Software Specification Document (SSD)

El primer proceso que tiene lugar es el de *Infiltración Vertical*. Luego, el programa entra en un ciclo de ejecución de NT pasos equivalentes a NT horas de simulación.

Por cada uno de estos pasos se ejecuta una vez, cada uno de los procesos de *Evapotranspiración*, *Infiltración Horizontal* e *Infiltración Vertical*; y se ejecuta *Nts* veces el proceso de *Escurrimiento Superficial*.

El valor *Nts* es calculado en cada paso de ejecución grande, ya que depende de valores de flujo de agua superficial.

Las partes del sistema destacadas en color verde fueron incluidas para la corrección de problemas de oscilaciones en cubetas o lagunas.

El sistema generará una salida del estado del agua superficial y del agua de la primera capa del suelo o capa permeable cada *Tg* horas.

Una vez que se haya completado la ejecución del algoritmo durante NT pasos de tiempo (en el caso del diagrama *NT = 1440*, equivalente a 60 días) se finaliza la ejecución.

3 Requerimientos específicos

3.1 Requerimientos funcionales

3.1.1 Algoritmo de ejecución (SR.1)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.1.1	Se debe tomar como base el modelo hidrológico descripto en RD.1 y AD.1 obteniendo como salidas exactamente los mismos resultados de dicho modelo [UR.1]
SR.1.2	En cada paso de ejecución global el sistema deberá ser capaz de detectar lagunas que presenten el efecto de oscilaciones.[UR.3]
SR.1.3	Las lagunas detectadas con el efecto de oscilaciones deberán ser estabilizadas o "planchadas".[UR.3]

3.1.2 Lectura de datos de entrada (SR.2)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.2.1	El sistema deberá aceptar como datos de entrada: <ul style="list-style-type: none">• Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación.• Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable.• Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable.• Altura de agua de la capa permeable.• Pronóstico de precipitaciones, se usará como altura de agua en superficie.[UR.1]

Software Specification Document (SSD)

3.1.3 Registro de Actividades (SR.3)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.3.1	<p>Las actividades relevantes de ejecución se deberán registrar en un archivo de texto que contendrá fecha y hora de ocurrencia del evento. Estas actividades son:</p> <ul style="list-style-type: none">• Inicio de la simulación• Cuenta de paso de tiempo global.• Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso, mostrando celda donde tuvo lugar.• Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial.• Límite de cantidad de pasos para escurrimiento superficial, solo si se excediera este límite.• Escritura de resultados [UR.5]

3.1.4 Generación de resultados (SR.4)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.4.1	El sistema deberá generar resultados cada N cantidad de pasos de ejecución, donde N se debe leer por defecto del archivo de configuración o a través de la interfaz con el usuario y es el tiempo de grabación de resultados. [UR.1]
SR.4.2	Al momento de generar resultados se escribirán el estado de las siguientes variables: <ul style="list-style-type: none">• Altura de agua sobre la superficie.• Altura de agua de la capa permeable [UR.1]

3.2 Requerimientos de performance (SR.5)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.5.1	El sistema debe presentar mejoras en cuanto a eficiencia en tiempo de ejecución de la simulación, en comparación con el prototipo original.[UR.6]

3.3 Requerimientos de interfaces (SR.6)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.6.1	Se debe proveer una interfaz de usuario que permita elegir los datos de entrada que servirán para la simulación. [UR.2]
SR.6.2	Se deberá llevar la cuenta de las salidas que se irán generando. Las salidas generadas deberán contener como nombre de archivo la secuencia de generación desde el inicio de la simulación. [UR.1]
SR.6.3	Las salidas generadas se deberán poder abrir para su análisis con el programa ENVI. [UR.1]
SR.6.4	El sistema deberá contener un archivo de configuración en donde se defina: <ul style="list-style-type: none">• Ruta de los archivos de entrada y otros parámetros de ejecución que se

Software Specification Document (SSD)

- deben leer por defecto.
- Ruta donde se deben generar los archivos de salida o resultados de la simulación.
 - Dimensión (alto y ancho en cantidad de pixeles) de la zona donde se ejecutará la simulación.
 - Ruta donde se generen los archivos de reporte
 - Constantes de ejecución (Manning, Evaporacion, etc).[UR.4]

Estructura del archivo de configuración de entrada (SimuladorHidrológico.exe.config):

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>
  <appSettings>
    <add key="carpetaDatosEntrada" value="C:\SimuladorHidrologico\Inputs"/>
    <add key="carpetaArchivoLog" value="C:\SimuladorHidrologico\Log"/>
    <add key="DEM" value="dem90_gk5_sua21b.dem"/>
    <add key="profundidadCapaPermeable" value="profundidad.prof"/>
    <add key="KconductividadHSuelo" value="conductividadhidraulica.khs"/>
    <add key="capacidadAlmacenSuelo" value="aguaalmacenable.cap"/>
    <add key="aguaSuperfEntradaDefault" value="aguainicialenS.agu"/>
    <add key="aguaCapalEntradaDefault" value="aguainicialenC1.agu"/>
    <add key="coefManning" value="0,06"/>
    <add key="coefEvaporacion" value="-0,000125"/>
    <add key="carpetaResultados" value="C:\SimuladorHidrologico\Resultados"/>
    <add key="maxEscSupPasosNts" value="300"/>
    <add key="tiempoSimulacionHoras" value="1440"/>
    <add key="periodoGrabacionResult" value="24"/>
    <add key="anchoEjeX" value="913"/>
    <add key="altoEjeY" value="584"/>
    <add key="dimensionCelda" value="90,0"/>
    <add key="maxCantidadVariaciones" value="10"/>
  </appSettings>
  <startup><supportedRuntime version="v4.0"
    sku=".NETFramework,Version=v4.0"/></startup>
</configuration>
```

3.4 Requerimientos operacionales

3.4.1 Interfaz gráfica y archivo de configuración (SR.7)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.7.1	Se debe proveer una interfaz de usuario gráfica que permita elegir los datos de entrada que servirán para la simulación. En la misma se deben poder elegir los datos de inicialización, los datos de contorno y los parámetros de tiempo.[UR.2]

3.5 Requerimientos de diseño (SR.8)

SR ID	Descripción del Requerimiento
SR.8.1	El diseño del sistema debe ser modular separando cada proceso hidrológico y que provea interfaces bien definidas entre los componentes.[UR.7]

4 Diseño arquitectónico

4.1 Introducción

El diseño de arquitectura propuesto muestra la división del sistema en subsistemas y componentes y no representa una arquitectura física, esto significa que los componentes exhibidos no son unidades o programas de software independientes.

Está pensado teniendo en cuenta la posibilidad de cambios de algoritmos para la generación del mismo producto, como así también para brindar la posibilidad de reutilización de los componentes en futuros sistemas que pudieran requerir procesamientos similares.

Software Specification Document (SSD)

El sistema se encuentra dividido en dos subsistemas con funciones bien definidas:

- El Subsistema de Control es el cerebro del sistema. Provee el componente encargado de interactuar con el usuario, mediante el cual se leen los parámetros de configuración y se determinan los parámetros de ejecución. Con estos parámetros de ejecución el componente “Controlador de Ejecución de Procesos”, se encarga de determinar la secuencia de ejecución de los distintos procesos hidrológicos. Al mismo tiempo contiene los repositorios de datos de entrada y salida donde serán leídos los datos de entrada como también escritos los archivos de resultados generados por el procesamiento.
- El Subsistema de Procesos Hidrológicos, agrupa los componentes encargados de aplicar los procesos hidrológicos que tienen lugar en el conjunto de datos de la región de observación. Los procesos que tiene lugar son: *Infiltración Vertical*, *Escurrimiento Superficial*, *Clustering & Planchado*, *Evapotranspiración* e *Infiltración Horizontal*.

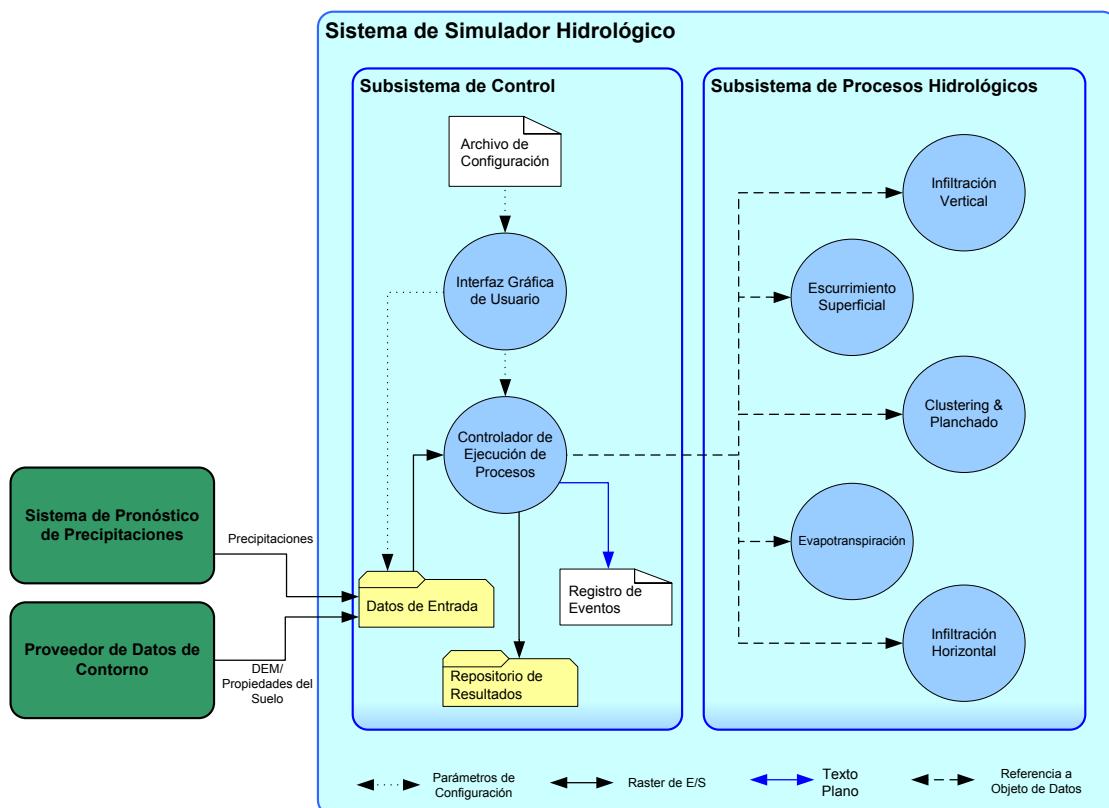


Figura 4.1.1 Diseño de Arquitectura del Simulador Hidrológico

5 Descripción de componentes

5.1 Componente #1: Interfaz Gráfica con el Usuario

5.1.1 Tipo

Clase. Punto de inicio de la aplicación.

Software Specification Document (SSD)

5.1.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer los requerimientos SR.6.1, SR.6.3, SR.6.4, SR.7.1 y SR.8

5.1.3 Función

Este componente es requerido para brindar al usuario la posibilidad de elegir los datos con los que se debe ejecutar la simulación de una manera fácil y flexible. Este componente carga la información del archivo de configuración (carpeta de lectura de datos de entrada por defecto, carpeta donde se guardan los resultados, etc.) y provee la posibilidad de elegir diferentes archivos de entrada.

Con esta información ya definida, este componente la provee al *Controlador de Ejecución de Procesos* para que proceda a la carga de los datos de entrada.

Precondición: El archivo de configuración debe estar sintácticamente correcto.

Pos condición: Los datos de entrada por defecto de la unidad son cargados correctamente y se muestran en la interfaz gráfica. Una vez que son cargados el usuario puede usar esta interfaz para cambiar los datos de entrada.

5.1.4 Subordinados

Componente *Controlador de Ejecución de Procesos*

5.1.5 Dependencias

No aplica.

5.1.6 Interfaces

El programa recibirá como input la ruta donde se encuentra el archivo de configuración en formato XML.

La estructura del archivo de configuración es la siguiente:

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>
  <appSettings>
    <add key="carpetaDatosEntrada" value="C:\SimuladorHidrologico\Inputs"/>
    <add key="carpetaArchivoLog" value="C:\SimuladorHidrologico\Log"/>
    <add key="DEM" value="dem90_gk5_sua21b.dem"/>
    <add key="profundidadCapaPermeable" value="profundidad.prof"/>
    <add key="kConductividadHSuelo" value="conductividadhidraulica.khs"/>
    <add key="capacidadAlmacenSuelo" value="aguaalmacenable.cap"/>
    <add key="aguaSuperfEntradaDefault" value="aguainicialenS.agu"/>
    <add key="aguaCapa1EntradaDefault" value="aguainicialenC1.agu"/>
    <add key="coefManning" value="0,06"/>
    <add key="coefEvaporacion" value="-0,000125"/>
    <add key="carpetaResultados" value="C:\SimuladorHidrologico\Resultados"/>
    <add key="maxEscSupPasosNts" value="300"/>
    <add key="tiempoSimulacionHoras" value="1440"/>
    <add key="periodoGrabacionResult" value="24"/>
    <add key="anchoEjeX" value="913"/>
    <add key="altoEjeY" value="584"/>
    <add key="dimensionCelda" value="90,0"/>
    <add key="maxCantidadVariaciones" value="10"/>
  </appSettings>
  <startup><supportedRuntime version="v4.0"
sku=".NETFramework,Version=v4.0"/></startup></configuration>
```

Software Specification Document (SSD)

Como interfaz con el usuario, el programa provee una ventana con un par de pestañas en donde se pueden navegar y elegir distintos archivos de entrada, además de modificar parámetros de configuración de tiempo.

5.1.7 Recursos

Ninguno

5.2 Componente #2: Controlador de Ejecución de Procesos

5.2.1 Tipo

Programa Controlador del sistema. Ejecutado por el componente de *Interfaz Gráfica con el Usuario* para la ejecución de los procesos hidrológicos.

5.2.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer los requerimientos SR.1, SR.2, SR.3, SR.4, SR.5, SR.6.3 y SR.8

5.2.3 Función

Este programa es requerido para administrar la ejecución de los distintos procesos hidrológicos que tienen lugar en la simulación, la determinación de esta ejecución está dada inicialmente por los parámetros de configuración aportados por la *Interfaz con el Usuario*, durante la ejecución estos parámetros de tiempo pueden variar por el cálculo dinámico según se van dando las condiciones de las variables del sistema.

Tal como se muestra en el diagrama lógico, inicialmente se ejecuta la *Infiltración Vertical*, luego una cantidad variable de veces el *Escurrimiento Superficial*, según el valor de parámetro de tiempo lo indique. Seguidamente vienen los proceso de *Clustering* y *Planchado*, *Evapotranspiración*, *Infiltración Horizontal* para completar la vuelta y volver a empezar con la *Infiltración Vertical*.

Se llevará un registro de las actividades realizadas.

Precondición: Los parámetros de configuración aportados por el componente *Interfaz gráfica con el usuario* deben estar correctos. En la carpeta *Datos de Entrada* deben estar los datos de entrada necesarios para la ejecución, indicados por los parámetros de configuración. Los datos de entrada deben coincidir con las dimensiones definidas por configuración y deben estar en formato de punto flotante.

Pos-condición: Los procesos hidrológicos se ejecutarán correctamente y los resultados generados serán escritos en la carpeta *Repositorio de Resultados*.

5.2.4 Subordinados

Cada uno de los procesos hidrológicos que integran el sistema:

- Infiltración Vertical
- Escurrimiento Superficial
- Clustering & Planchado

Software Specification Document (SSD)

- Evapotranspiración
- Infiltración Horizontal

5.2.5 *Dependencias*

No aplica.

5.2.6 *Interfaces*

El componente recibirá los valores de configuración de la unidad para la lectura de los datos de entrada y para establecer los parámetros de tiempo de la simulación.

El componente además tiene como interfaz de entrada la carga de los datos que corresponden de la carpeta *Datos de Entrada*, datos necesarios para iniciar la simulación y como interfaz de salida escribirá los resultados en la carpeta *Repositorio de Resultados*.

Usa referencias a objetos de datos como interfaz con los procesos hidrológicos, para que estos últimos tengan a disposición los datos comunes a todos los procesos, estos datos están en formato de rasters.

5.2.7 *Recursos*

Ninguno

5.3 *Componente #3: Infiltración Vertical*

5.3.1 *Tipo*

Clase. Utilizado por el *Controlador de Ejecución de Procesos* durante la ejecución de la simulación.

5.3.2 *Propósito*

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.1.1 y SR.8

5.3.3 *Función*

Este componente es requerido para realizar el proceso de *Infiltración Vertical*. El objetivo es simular el flujo de agua a través de la capa permeable del suelo del agua existente en superficie, teniendo en cuenta propiedades del suelo.

Precondición: Correcta lectura de los datos para la ejecución de este proceso.

Pos-condición: Ejecución correcta del proceso hidrológico *Infiltración Vertical* y actualización de información en los datos temporales compartidos:

- Agua Superficial
- Agua en la capa del suelo permeable

5.3.4 *Subordinados*

Ninguno.

5.3.5 *Dependencias*

No aplica.

Software Specification Document (SSD)

5.3.6 *Interfaces*

El programa recibirá como input referencias a objetos de datos que contienen la información necesaria para la ejecución:

- Agua Superficial
- Agua en la capa permeable del suelo
- Coeficientes de conductividad hidráulica
- Capacidad de almacenamiento del suelo
- Altura suelo permeable

Como interfaz de salida, habrá actualizado los datos que fueron pasados por referencia con los valores que resultan luego de que tuvo lugar el proceso hidrológico.

5.3.7 *Recursos*

Ninguno

5.4 *Componente #4: Escurrimiento Superficial*

5.4.1 *Tipo*

Programa independiente. Utilizado por el *Controlador de Ejecución de Procesos* durante la ejecución de la simulación.

5.4.2 *Propósito*

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.1.1 y SR.8

5.4.3 *Función*

Este componente es requerido para realizar el proceso de *Escurrimiento Superficial*. El objetivo es simular el flujo de agua sobre la superficie del suelo, teniendo en cuenta propiedades del suelo.

Precondición: Correcta lectura de los datos para la ejecución de este proceso. Existencia de agua superficial

Pos-condición: Ejecución correcta del proceso hidrológico *Escurrimiento Superficial* y actualización de información en los datos temporales compartidos:

- Agua Superficial
- Agua en la capa del suelo permeable

5.4.4 *Subordinados*

Ninguno.

5.4.5 *Dependencias*

No aplica.

5.4.6 *Interfaces*

El programa recibirá como input referencias a objetos de datos que contienen la información necesaria para la ejecución:

Software Specification Document (SSD)

- Agua Superficial
- Modelo de elevación digital

Como interfaz de salida, habrá actualizado los datos que fueron pasados por referencia y que fueron afectados con los valores que resultan luego de que tuvo lugar el proceso hidrológico *Escurreimiento Superficial*:

- Agua Superficial

5.4.7 Recursos

Ninguno

5.5 Componente #5: Clustering & Planchado

5.5.1 Tipo

Programa independiente. Utilizado por el *Controlador de Ejecución de Procesos* durante la ejecución de la simulación.

5.5.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.1.2, SR.1.3, SR.5 y SR.8

5.5.3 Función

Este componente es requerido para realizar el proceso de *Clustering & Planchado*. El objetivo es agrupar para identificar las regiones del terreno que poseen lagunas con oscilaciones y posteriormente aplicar el proceso de *Planchado* el cual, lleva a un estado de igual nivel de agua la altura de cada laguna.

Precondición: Correcta lectura de los datos para la ejecución de este proceso. Carga y actualización del objeto de datos que contiene la cantidad de variaciones de flujo de cada celda de la grilla.

Pos-condición: Ejecución correcta del proceso de *Clustering & Planchado* y actualización de información en los datos temporales compartidos:

- Agua Superficial
- Agua en la capa del suelo permeable

La ejecución correcta de este proceso implica haber *planchado* las lagunas existentes.

5.5.4 Subordinados

Ninguno.

5.5.5 Dependencias

No aplica.

5.5.6 Interfaces

El programa recibirá como input referencias a objetos de datos que contienen la información necesaria para la ejecución:

Software Specification Document (SSD)

- Agua Superficial
- Modelo de elevación digital
- Cantidad de variaciones por celda

Como interfaz de salida, habrá actualizado los datos que fueron pasados por referencia y que fueron afectados con los valores que resultan luego de que tuvo lugar el proceso hidrológico *Escurreimiento Superficial*:

- Agua Superficial

5.5.7 Recursos

Ninguno

5.6 Componente #6: Evapotranspiración

5.6.1 Tipo

Programa independiente. Utilizado por el *Controlador de Ejecución de Procesos* durante la ejecución de la simulación.

5.6.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.1.1 y SR.8

5.6.3 Función

Este componente es requerido para realizar el proceso de *Evapotranspiración*. El objetivo es simular la evaporación del agua de la superficie y/o transpiración del agua de la capa del suelo permeable, teniendo en cuenta propiedades del suelo y coeficiente de evaporación,

Precondición: Correcta lectura de los datos para la ejecución de este proceso. Existencia de agua superficial y agua en la capa permeable del suelo

Pos-condición: Ejecución correcta del proceso hidrológico *Evapotranspiración* y actualización de información en los datos temporales compartidos:

- Agua Superficial
- Agua en la capa del suelo permeable

5.6.4 Subordinados

Ninguno.

5.6.5 Dependencias

No aplica.

5.6.6 Interfaces

El programa recibirá como input referencias a objetos de datos que contienen la información necesaria para la ejecución:

- Agua Superficial
- Agua en la capa del suelo permeable

Software Specification Document (SSD)

- Altura de capa de suelo permeable
- Modelo de elevación digital

Como interfaz de salida, habrá actualizado los datos que fueron pasados por referencia y que fueron afectados con los valores que resultan luego de que tuvo lugar el proceso hidrológico *Evapotranspiración*:

- Agua Superficial
- Agua en la capa del suelo permeable.

5.6.7 Recursos

Ninguno

5.7 Componente #7: Infiltración Horizontal

5.7.1 Tipo

Programa independiente. Utilizado por el *Controlador de Ejecución de Procesos* durante la ejecución de la simulación.

5.7.2 Propósito

El propósito de este componente es satisfacer el requerimiento SR.1.1 y SR.8

5.7.3 Función

Este componente es requerido para realizar el proceso de *Infiltración Horizontal*. El objetivo es simular el flujo de agua horizontal entre celdas del *raster* a nivel de la capa permeable del suelo teniendo en cuenta propiedades del suelo.

Precondición: Correcta lectura de los datos para la ejecución de este proceso.

Pos-condición: Ejecución correcta del proceso hidrológico *Infiltración Horizontal* y actualización de información en los datos temporales compartidos:

- Agua Superficial
- Agua en la capa del suelo permeable

5.7.4 Subordinados

Ninguno.

5.7.5 Dependencias

No aplica.

5.7.6 Interfaces

El programa recibirá como input referencias a objetos de datos que contienen la información necesaria para la ejecución:

- Agua en la capa permeable del suelo
- Coeficientes de conductividad hidráulica

Software Specification Document (SSD)

- Capacidad de almacenamiento del suelo
- Altura suelo permeable

Como interfaz de salida, habrá actualizado los datos que fueron pasados por referencia con los valores que resultan luego de que tuvo lugar el proceso hidrológico:

- Agua en la capa permeable del suelo

5.7.7 Recursos

Ninguno

6 Matriz de trazabilidad: Requerimientos de Usuario versus Requerimientos de Software

La Tabla 6.1 muestra una referencia cruzada entre los requerimientos de usuario y los requerimientos de software.

ID Requerimiento de Usuario	ID Requerimiento de Software
UR.1	SR.1.1 - SR.2.1 - SR.4.1 SR.4.2 - SR.6.2 - SR.6.3
UR.2	SR.6.2 - SR.7.1
UR.3	SR.1.2 - SR.1.3
UR.4	SR.6.4
UR.5	SR.3.1
UR.6	SR.5
UR.7	SR.8.1

Tabla 6.1 Requerimientos de Usuario vs Requerimientos de Software

7 Matriz de trazabilidad: Requerimientos de Software versus componentes

La Tabla 7.1 muestra una referencia cruzada entre los requerimientos funcionales y los componentes propuestos para satisfacerlos.

ID Requerimiento de Software	ID Componente
SR.1.1	Controlador de Ejecución de Procesos Infiltración Vertical Escurrimiento Superficial Evapotranspiración Infiltración Horizontal
SR.1.2	Controlador de Ejecución de Procesos
SR.1.3	Controlador de Ejecución de Procesos Clustering&Planchado
SR.2.1	Controlador de Ejecución de Procesos
SR.3.1	Controlador de Ejecución de Procesos
SR.4.1	Controlador de Ejecución de Procesos
SR.4.2	Controlador de Ejecución de Procesos
SR.5.1	Controlador de Ejecución de Procesos Clustering&Planchado
SR.6.1	Interfaz Gráfica con el Usuario
SR.6.2	Controlador de Ejecución de Procesos
SR.6.3	Interfaz Gráfica con el Usuario
SR.6.4	Interfaz Gráfica con el Usuario
SR.7.1	Interfaz Gráfica con el Usuario
SR.8.1	Interfaz Gráfica con el Usuario Controlador de Ejecución de Procesos Infiltración Vertical Escurrimiento Superficial Evapotranspiración Infiltración Horizontal

Tabla 7.1 Requerimientos de Software vs Componentes

Apéndice

C

Documento de Diseño Detallado

Detailed Design Document (DDD)

Simulador Hidrológico
(Spanish Version)

03/04/2013
Author: Cristian Guerrero Córdova
Revisión: 1.0

Author: Cristian Guerrero Córdova
Date: 01-03-2013

Detailed Design Document (DDD)

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
RD.1	Software Specification Document – Simulador Hidrológico	08-02-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.2	ESA PSS-05-05 Issue 1 Revision 1 - Guide to the software detailed design and production phase	March, 1995	ESA Board for Software Standardisation and Control
RD.3	User Requirement Document – Modelado de Simulación Hidrológica	01-02-13	Cristian Guerrero Córdova

Detailed Design Document (DDD)

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES.....	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO.....	4
1.2	ALCANCE DEL SOFTWARE	4
1.3	DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES	4
1.4	REFERENCIAS.....	4
1.5	RESUMEN DEL DOCUMENTO	4
2	ESTÁNDARES DEL PROYECTO, CONVENCIONES Y PROCEDIMIENTOS	5
2.1	ESTÁNDARES DE DISEÑO	5
2.2	ESTÁNDARES DE DOCUMENTACIÓN	5
2.3	ESTÁNDARES DE PROGRAMACIÓN	5
2.4	HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE	5
3	DIAGRAMAS DEL DISEÑO	6
3.1	DIAGRAMA DE CLASES.....	6
3.2	DIAGRAMA DE SECUENCIA	7
4	ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO DE COMPONENTES.....	7
4.1	COMPONENTE #1: INTERFAZ GRÁFICA CON EL USUARIO	9
4.2	COMPONENTE #2: CONTROLADOR DE EJECUCIÓN DE PROCESOS.....	9
4.2.1	Actualización Matriz Variaciones	10
4.2.2	Recálculo de Variables	11
4.2.3	Cálculo de Nts.....	12
4.3	COMPONENTE #3: INFILTRACIÓN VERTICAL	12
4.4	COMPONENTE #4: ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	13
4.5	COMPONENTE #5: CLUSTERING & PLANCHADO.....	14
4.5.1	Clustering	14
4.5.2	Planchado.....	15
4.6	COMPONENTE #6: EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	16
4.7	COMPONENTE #7: INFILTRACIÓN HORIZONTAL.....	17

Detailed Design Document (DDD)

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe el diseño detallado de la unidad **Modulado de Simulación Hidrológica** perteneciente al sistema del mismo nombre.

Describe los componentes que la integran, las interfaces entre ellos y las interfaces hacia el exterior de la unidad.

1.2 Alcance del software

Esta unidad permite realizar la simulación del flujo de agua en el área de observación teniendo en cuenta las características y propiedades del suelo leídas como datos de entrada, además de el pronóstico de precipitaciones que servirá como agua inicial de todo el sistema.

1.3 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción

1.4 Referencias

No Aplica

1.5 Resumen del documento

En el capítulo dos se describen los estándares del proyecto (estándares de diseño, documentación, programación, etc.).

El capítulo tres detalla el diseño de la unidad, mostrando los diagramas de clases, de secuencia y de uso.

Por último, el capítulo cuatro especifica el diseño de cada uno de los componentes de la unidad.

2 Estándares del proyecto, Convenciones y Procedimientos

2.1 Estándares de diseño

Para los estándares de diseño se utiliza UML. Se describen el diagrama de clases, diagrama de uso y diagrama de secuencia.

2.2 Estándares de documentación

Para la documentación se siguen los estándares de la Agencia Espacial Europea para el diseño detallado definidos por en el documento "**Guide to the software detailed design and production phase**".

2.3 Estándares de programación

Cómo estándar de programación se utilizará el paradigma de orientación a objetos.

2.4 Herramientas de desarrollo de software

Para el desarrollo del sistema se utilizará el lenguaje de programación C#.

Detailed Design Document (DDD)

3 Diagramas del Diseño

3.1 Diagrama de clases

La Figura 3.1.1 presenta el diagrama de clases definido para la unidad **Simulador Hidrológico**, describe cada una de las clases con sus atributos y métodos, y la relación entre ellas.

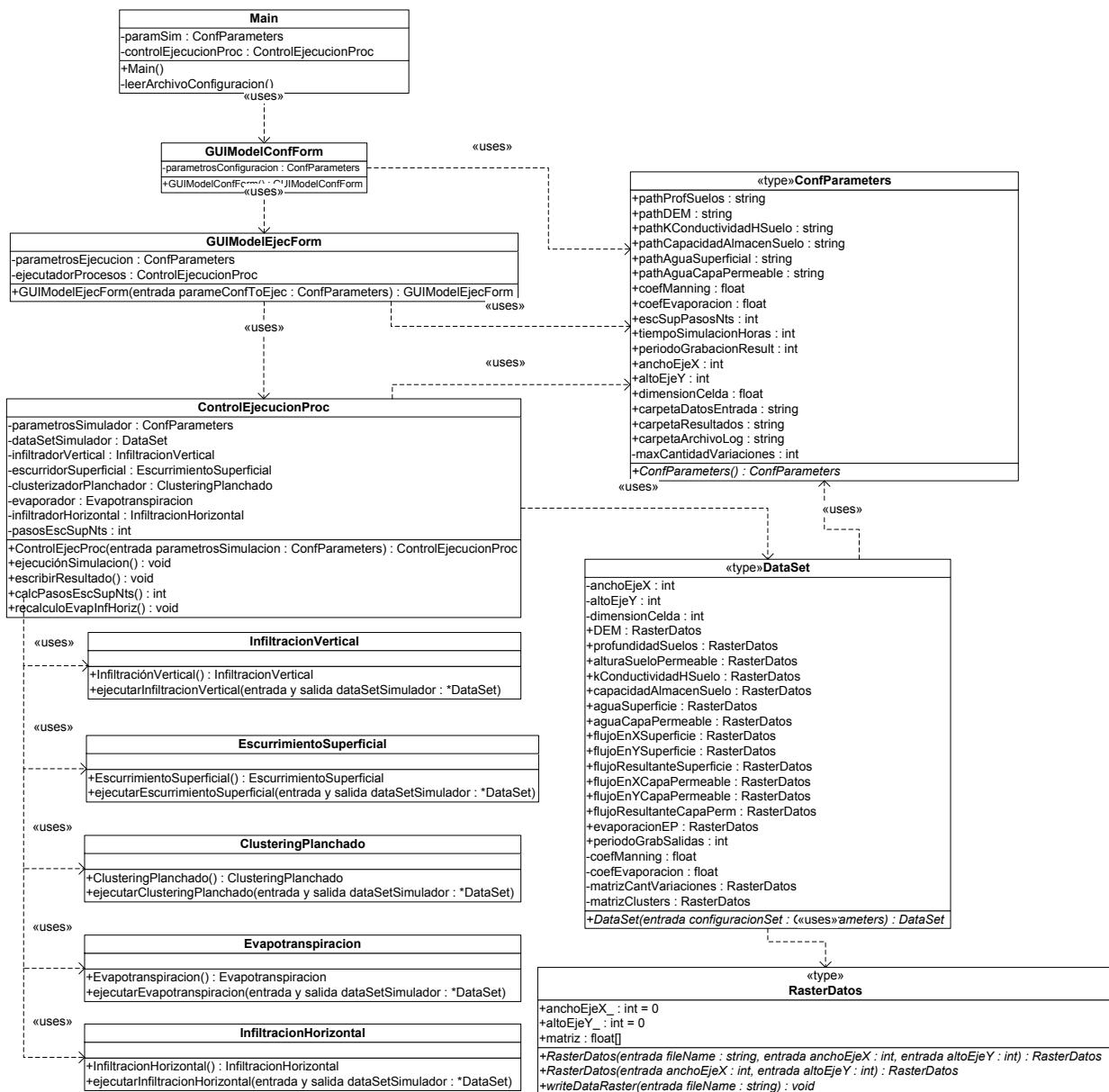
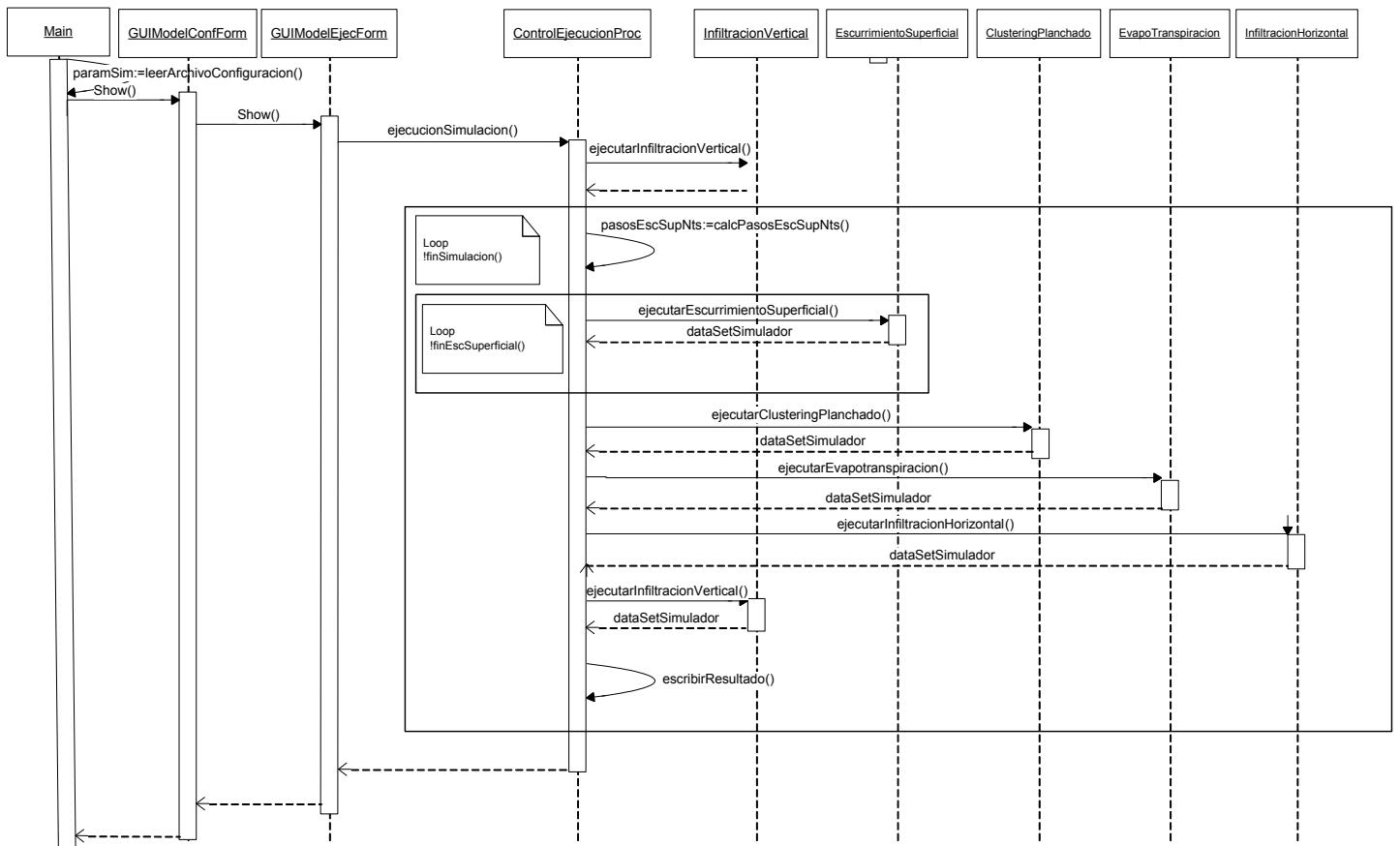


Figura 3.1.1 – Diagrama de Clases

Detailed Design Document (DDD)

3.2 Diagrama de secuencia



4 Especificaciones del Diseño de Componentes

Para ver una descripción general de los componentes ver documento de especificación de software [RD.1]. Los procesos hidrológicos que se quieren simular son para tiempo y espacios continuos, pero para fines computacionales se deben discretizar, es por eso que para cada variable existente en el área observada (altura y propiedades del suelo, estado del agua, etc...) se trabaja con una discretización por medio del uso de matrices, en donde cada elemento o celda de la matriz representa un sector del terreno. Por ejemplo, a continuación se muestra el terreno en tres dimensiones de manera continua:

Detailed Design Document (DDD)

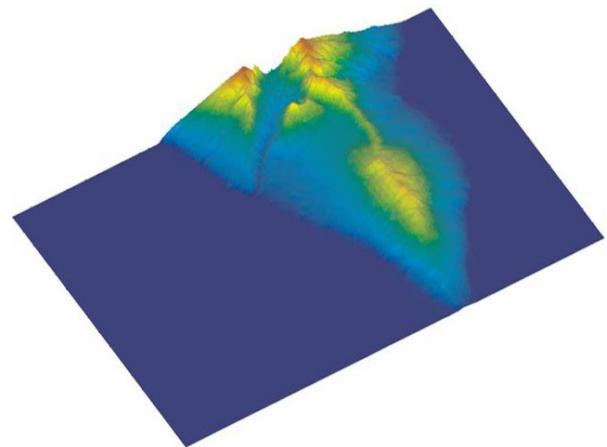


Figura 4.0.1 – Imagen de suelo en 3D continua

Luego de la discretización uno debería imaginarlo más o menos así:

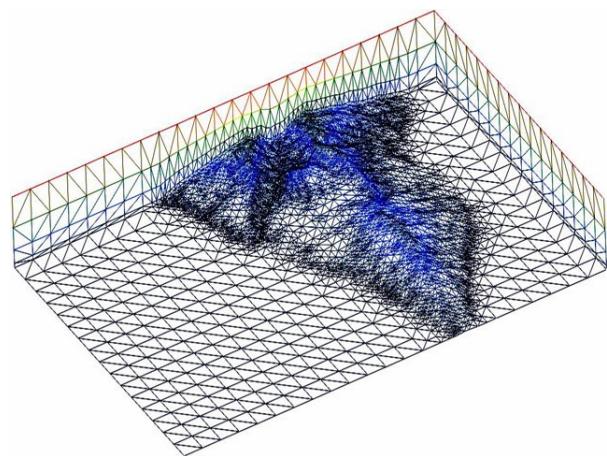


Figura 4.0.2 – Imagen de suelo discretizada

Esto nos permite simular el comportamiento del agua entre zonas vecinas o celdas vecinas, ya que de esta manera es como están planteadas las ecuaciones de flujo hidrológico, de a pares:

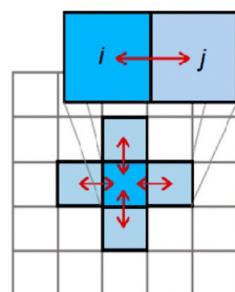


Figura 4.0.3 – Interacción entre vecinos

Detailed Design Document (DDD)

Esto nos sirve para entender la especificación de los componentes #3 al #7, que tienen que ver con los procesos hidrológicos. A continuación se brinda una descripción detallada del funcionamiento de cada componente:

4.1 Componente #1: Interfaz Gráfica con el Usuario

La interfaz gráfica con el usuario debe contener dos instancias, la primera de configuración de parámetros de ejecución, datos de entrada valores de tiempo, etc. Una vez que el usuario seleccionó la información que prefiera puede pasar a la segunda instancia al largar la ejecución de la simulación. En esta segunda instancia el usuario puede ver por pantalla el estado de la ejecución a través de una ventana en donde actualizará el registro de eventos.

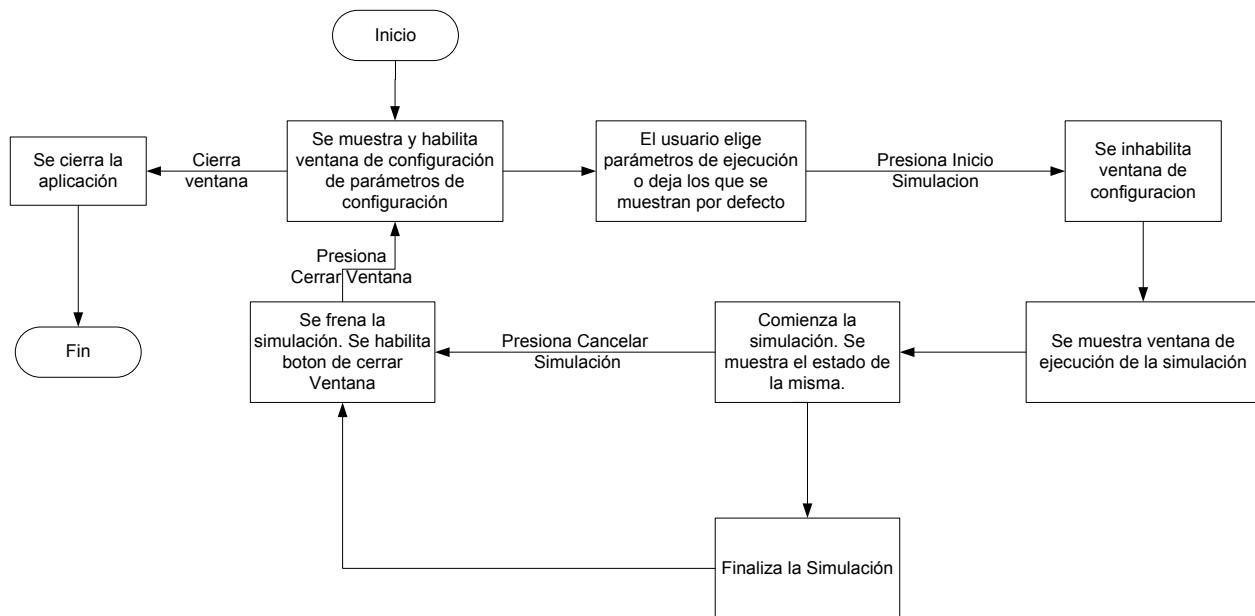


Figura 4.1.1 – Diagrama de Flujo para el componente de Interfaz Gráfica con el Usuario

4.2 Componente #2: Controlador de Ejecución de Procesos

Como lo menciona la descripción de este componente en RD.1, se encarga de administrar la ejecución de los distintos procesos hidrológicos, por lo tanto su comportamiento está descripto por el Modelo Lógico de la unidad. Sección: “2 Descripción del Modelo Lógico” de RD.1

Es por esto que para este componente nos limitaremos a describir las funciones que no se encuentran descriptas dentro de los demás componentes y que destacamos en rojo en el diagrama de flujo de la Figura 4.2.1, el resto de las funciones son descriptas y detalladas en las secciones siguientes correspondientes a cada componente en particular.

Detailed Design Document (DDD)

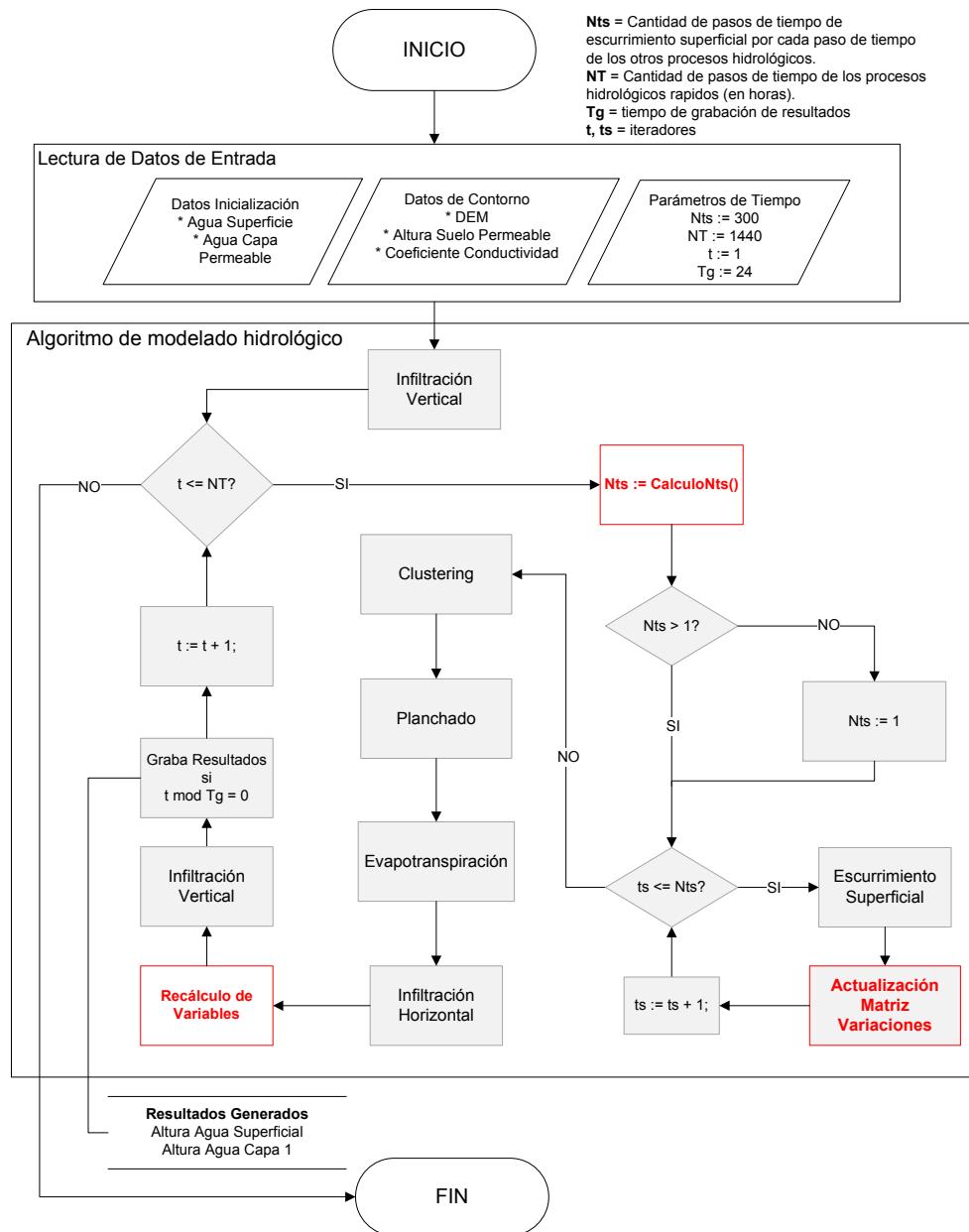


Figura 4.2.1 – Diagrama de Flujo para el componente de Controlador de Ejecución de Procesos

A continuación se describe lo que realiza funciones que no están descriptas dentro de los demás componentes, ya que los otros procesos están descriptos por cada componente.

4.2.1 Actualización Matriz Variaciones

Esta función fue incluida luego del cálculo de escurrimiento superficial para la creación de un par matrices que llevan la cuenta de la cantidad de oscilaciones que tienen lugar para cada celda de dominio.

Consideraremos una oscilación para las celdas i y j si en el paso de ejecución t , entre la celda i y j hubo un valor de flujo de agua positivo, (ingresó agua en la celda i) y en el paso de tiempo $t + 1$ el valor del flujo entre las celdas i y j fue negativo (es decir, salió agua de la celda i hacia la celda j). Este hecho es considerado como una oscilación. Si en el paso de tiempo $t + 2$, se vuelve a dar el caso como en el tiempo $t + 1$, es decir valor de flujo de signo opuesto al del tiempo $t + 1$, consideraremos otra oscilación.

Detailed Design Document (DDD)

Haciendo este tipo de evaluaciones en cada paso de tiempo del escurrimiento superficial y llevando la cuenta de la cantidad de oscilaciones por cada par de celdas adyacentes, podemos crear una matriz de oscilaciones, de igual tamaño que la zona de estudio y que contenga en cada celda un valor entero indicando la cantidad de oscilaciones ocurrentes en un paso de ejecución grande (1 paso de 1 hora). Este cálculo de oscilaciones se hace tanto para el eje horizontal como vertical, creando así 2 matrices de oscilaciones.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0	0	55	20	40	20	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	4	0	0	0	0	0	0	0			
0	0	0	30	50	75	95	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	540	718	721	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	376	801	952	958	962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	605	948	958	962	966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	475	718	723	728	739	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	32	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	54	100	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	547	58	59	245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	300	0	141	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	75	89	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	95	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	105	100	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	110	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.2.1.1 – Ejemplo de matriz de variaciones

4.2.2 Recálculo de Variables

Este componente también posee un método que relaciona las matrices de resultado luego de los efectos de los procesos de “Evapotranspiración” e “Infiltración Horizontal” y determina los estados de agua en superficie y de la capa permeable luego de estos procesos.

El siguiente diagrama de flujo detalla el funcionamiento para asignar los valore que corresponde a agua superficial y agua en capa permeable:

Detailed Design Document (DDD)

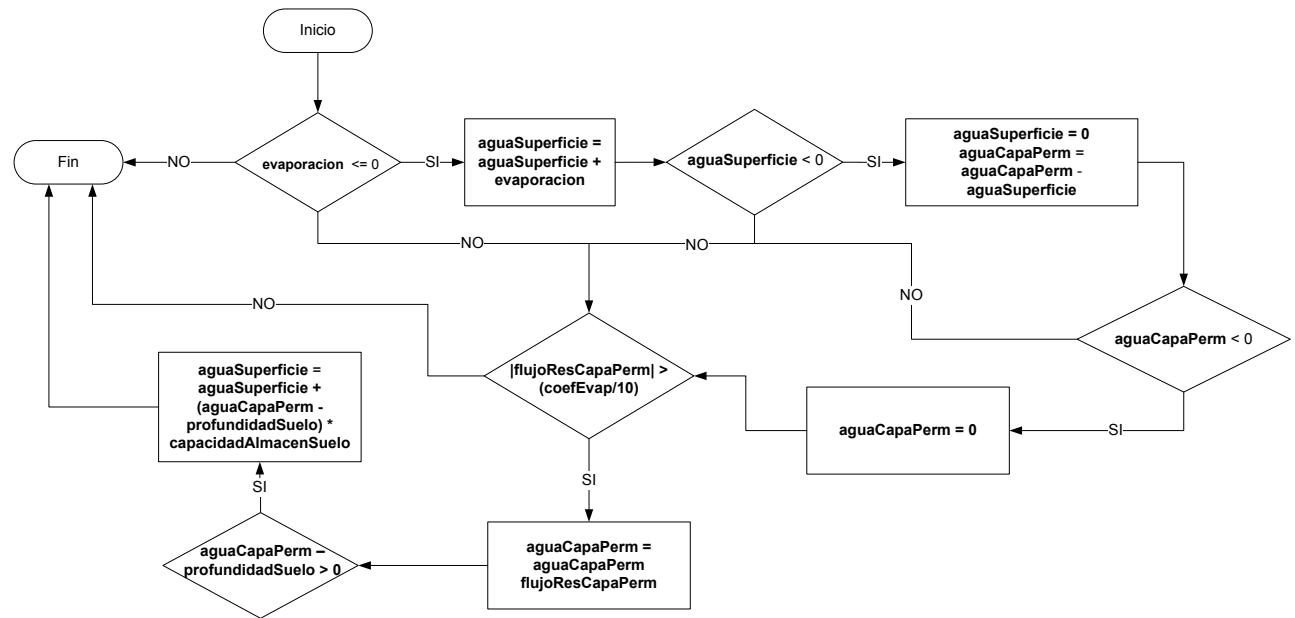


Figura 4.2.2.1 – Diagrama de Flujo para la asignación de valores de evaporación e infiltración horizontal

4.2.3 Cálculo de Nts

El siguiente diagrama de flujo detalla el funcionamiento para el cálculo del valor Nts, necesario para determinar la cantidad de veces que se debe ejecutar el escurrimiento superficial:

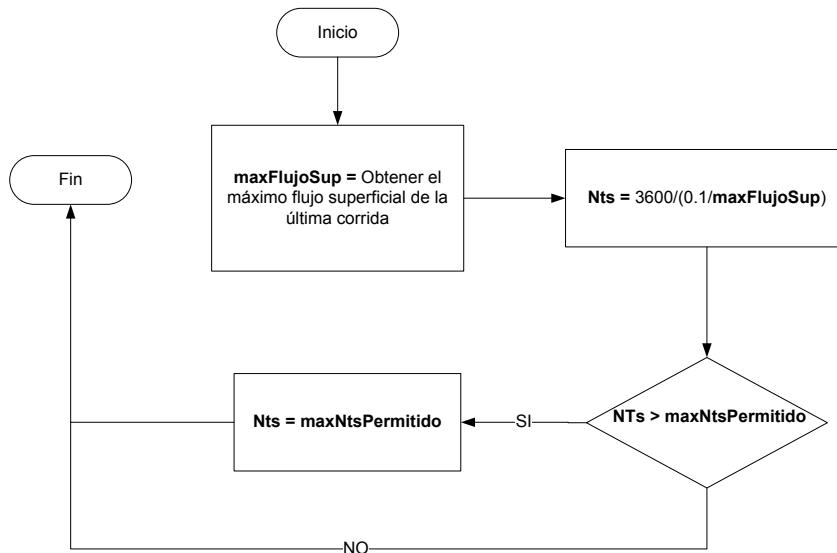


Figura 4.2.3.1 – Diagrama de Flujo para el cálculo de la cantidad de pasos que se debe ejecutar el escurrimiento superficial

4.3 Componente #3: Infiltración Vertical

La infiltración vertical es el proceso hidrológico que tiene lugar entre el agua en superficie y el suelo. Para determinar la cantidad de agua que el suelo absorbe por paso de tiempo hay que tener en cuenta la cantidad de agua en superficie, la cantidad de agua en capa permeable, el coeficiente de conductividad y la capacidad de almacenamiento. El modo en que estos elementos interactúan y se determina el flujo en un paso de tiempo para una celda determinada esta dado por el diagrama de flujo que muestra la Figura 4.3.1.

Detailed Design Document (DDD)

El cálculo que propone el diagrama debe aplicarse para cada píxel del dominio, actualizando así el estado de agua superficial y de la capa permeable de cada celda del dominio.

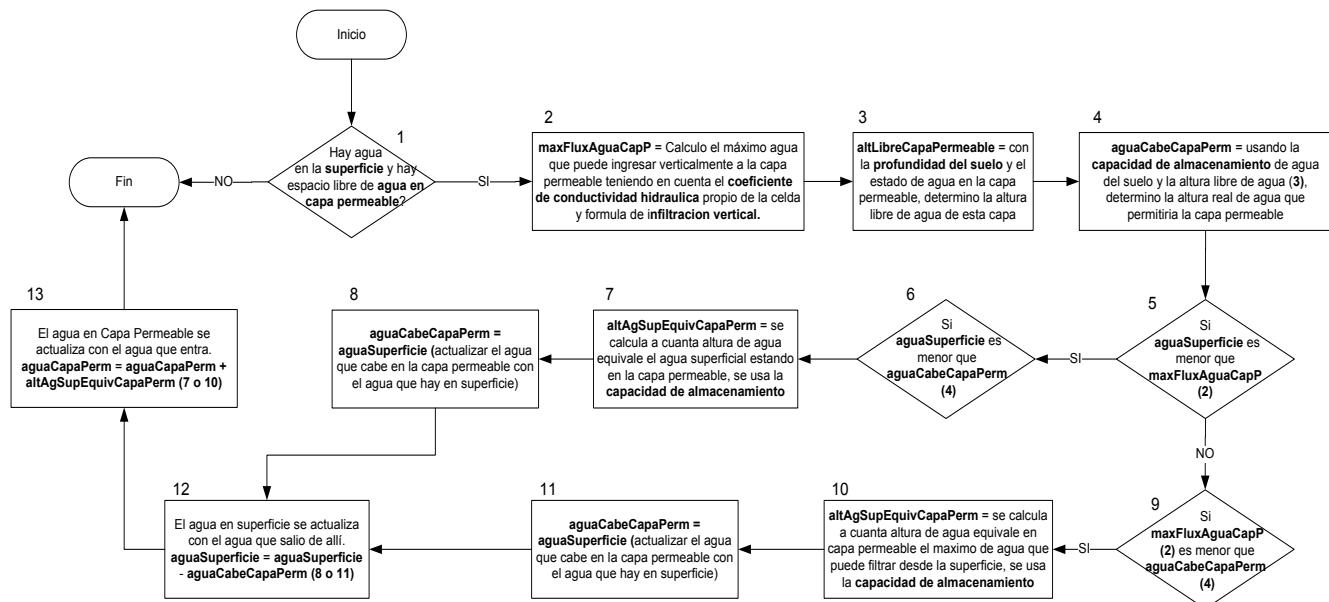


Figura 4.3.1 – Diagrama de Flujo para el proceso de Infiltración Vertical

4.4 Componente #4: Escurrimiento Superficial

Para el cálculo de proceso hidrológico que tiene que ver con el Escurrimiento Superficial se deben tener en cuenta las interacciones con sus vecinos próximos, para cada celda; tanto a los dados, como superior e inferior, como lo muestra la Figura 4.4.1

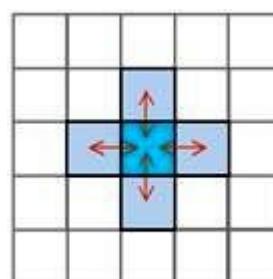


Figura 4.4.1 – Interacción de una celda con sus vecinos

Dado que es un proceso que en la realidad ocurre simultáneamente para cada celda, se pretende calcular de manera simultánea también. Para tener a disposición, para cada celda, la interacción con sus vecinos se calculan separadamente 2 matrices de flujo de agua, una para los que ocurren en el eje "y" o verticalmente (si observamos la matriz de frente) y otra para los que ocurren en el eje "x". Una vez obtenidas estas matrices, ("flujoSuperficialenX" y "flujoSuperficialenY") se efectúa el cálculo de flujo resultante para cada celda sumando o restando lo que corresponda para cada celda. Si este resultado es positivo indica que el flujo ingresa en la celda y negativo si egresa de ella.

Detailed Design Document (DDD)

El siguiente diagrama de flujo muestra el cálculo que se debe hacer para cada celda "x1" con su celda vecina "x2".

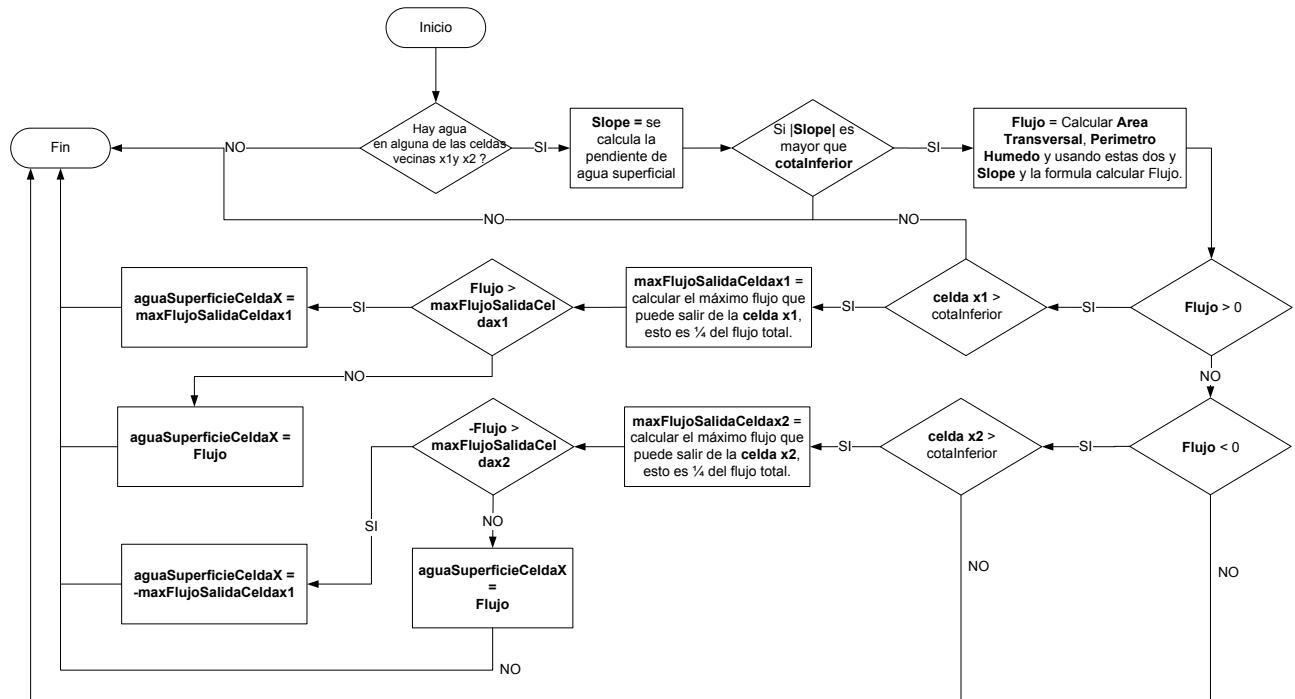


Figura 4.4.2 – Diagrama de Flujo para el cálculo de escurrimiento superficial de una celda

Una vez que se ha calculado el escurrimiento superficial que tiene lugar en cada celda con su vecina, se guarda esta información en matrices, una para el eje horizontal y otra para el eje vertical y se genera una matriz de Flujo Resultante en donde se combina la información de ambos ejes, de la siguiente manera:

```
FlujoResultanteSup[celda x] = FlujoHorizontalSup[izq] - FlujoHorizontalSup[derecha] +  
FlujoHorizontalSup [abajo] - FlujoHorizontalSup[arriba]
```

Este resultado es el que es asignado finalmente al estado de agua superficial.

4.5 Componente #5: Clustering & Planchado

4.5.1 Clustering

En el proceso de "clustering" se recorre la matriz de cantidad de oscilaciones (Figura 4.2.1.1) y cada vez que encuentra una celda con valor mayor al mínimo permitido (valor establecido previamente) se le asigna un identificador de cluster:

- Un valor nuevo si no tiene celdas vecinas a las que ya se les haya asignado cluster.
- El valor del cluster de alguna celda vecina si a alguna ya se le asignó cluster.

Detailed Design Document (DDD)

Obtenemos como resultado una grilla en donde todo par de celdas contiguas (horizontal, vertical o diagonalmente) con cantidad de oscilaciones mayor al mínimo permitido y que sean vecinas, pertenecen al mismo cluster. A continuación se muestra un ejemplo de la matriz de cluster producto de haber aplicado el proceso de *Clustering* sobre la matriz de cantidad de variaciones de la Figura 4.2.1.1.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	19	19	19	19	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	19	19	19	19	19	0	0	0	0	0	0	0	0	22	22	22	22	0
0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	3	22	22	22	22	22	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22	22	22	22	22	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22	22	22	22	22	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	25	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	25	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	25	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	27	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	27	27	27	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	27	27	27	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	27	27	27	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	27	27	27

Figura 4.5.1.1 – Ejemplo de matriz de clusters

4.5.2 Planchado

El proceso de *Planchado* se independiente para cada Cluster. El objetivo es distribuir la suma de agua de las celdas pertenecientes a un cluster de manera tal que la suma de la altura de suelo y altura de agua superficial sea exactamente igual para cada celda perteneciente al cluster. Para esto se calcula la altura media de todas las celdas, esta altura media implica la altura del DEM más la altura de agua superficial. Hay que tener en cuenta que puede haber celdas cuya altura del DEM quede por encima de la media, el algoritmo de planchado tiene en cuenta también estos casos excluyéndolos de la distribución de agua.

La siguiente Figura 4.5.2.1 muestra como sería el algoritmo de Planchado para cada cluster independientemente:

Detailed Design Document (DDD)

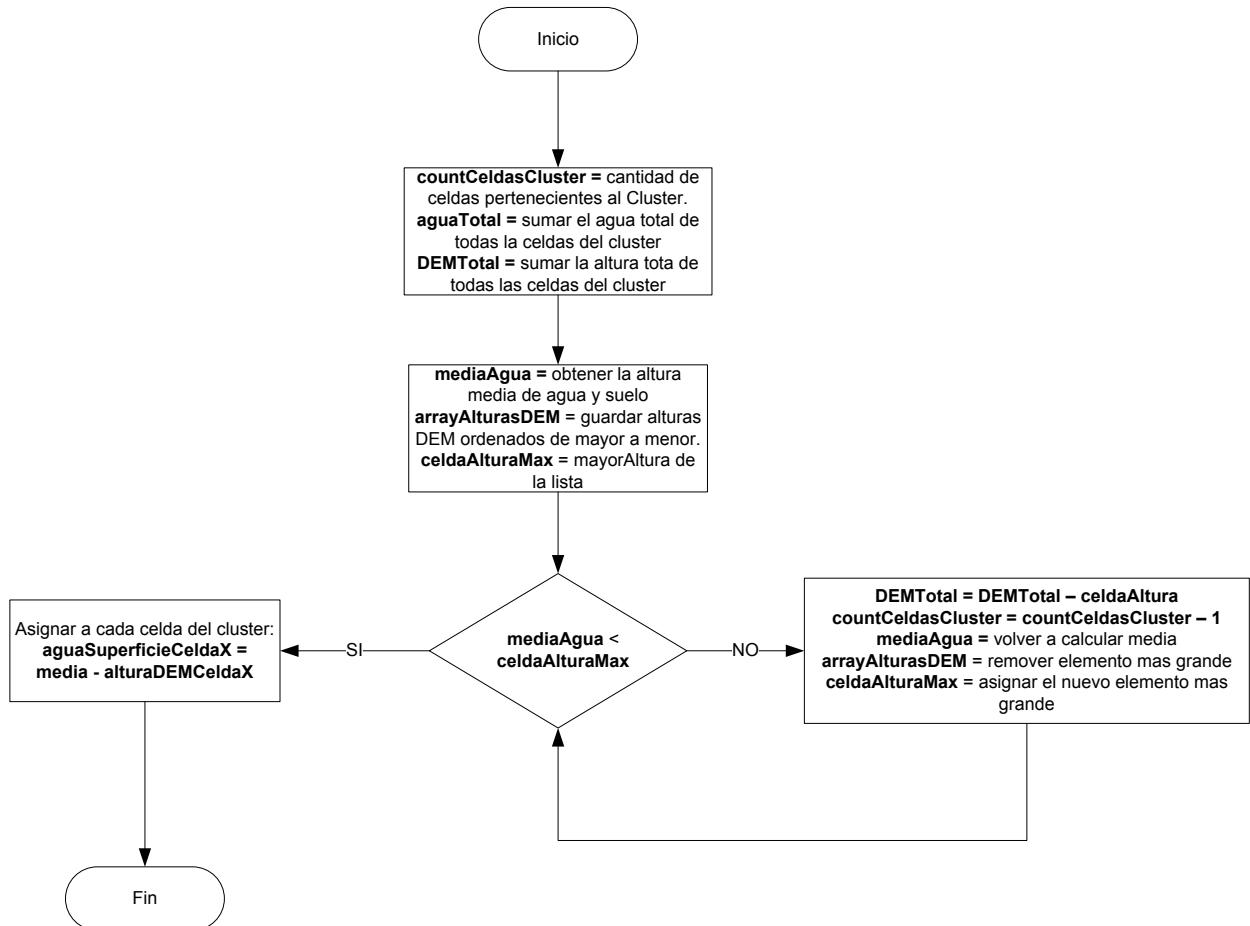


Figura 4.5.2.1 – Diagrama de flujo para el planchado de un cluster

4.6 Componente #6: Evapotranspiración

El proceso de Evapotranspiración combina dos procesos en uno solo según sea el caso, es un proceso vertical en donde el flujo de agua es de cada celda independiente de sus vecinos. En caso que hubiera agua superficial tiene lugar la Evaporación Superficial, en caso contrario se lo denomina Transpiración, ya que el agua perdida es de la capa permeable del suelo. El resultado de la evapotranspiración es almacenado temporalmente en una matriz de flujo de evapotranspiración. La Figura 4.6.1 nos describe el algoritmo de este proceso:

Detailed Design Document (DDD)

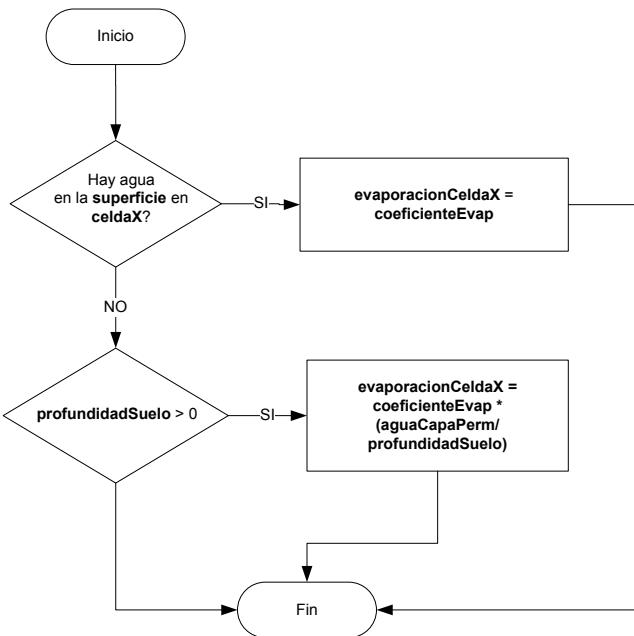


Figura 4.6.1 – Diagrama de algoritmo evapotranspiración

4.7 Componente #7: Infiltración Horizontal

De la misma manera que en el caso del *escurrimiento superficial*, en la *infiltración horizontal* se debe evaluar la relación de cada celda con sus vecinos, tanto superior e inferior como hacia los lados. De nuevo se calculan separadamente 2 matrices de flujo de agua, para el eje x y para el eje y. El algoritmo que tiene lugar para generar estas matrices es el siguiente. Figura 4.7.1:

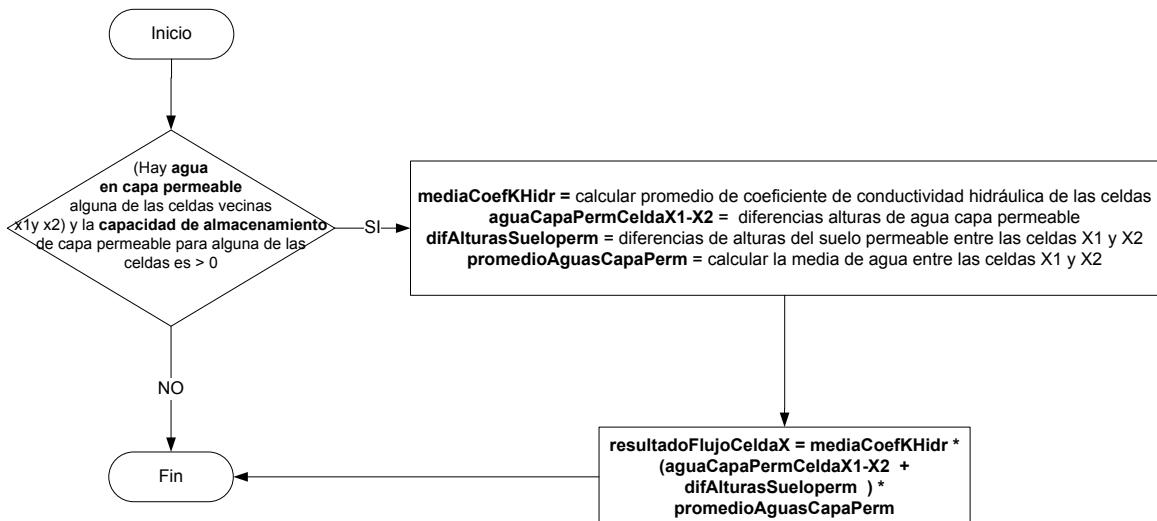


Figura 4.7.1 – Diagrama de algoritmo Infiltración Horizontal

Una vez que se ha calculado el escurrimiento superficial que tiene lugar en cada celda con su vecina, se guarda esta información en matrices, una para el eje horizontal y otra para el eje vertical y se genera una matriz de Flujo Resultante en donde se combina la información de ambos ejes, de la siguiente manera.

```
flujoResCapaPerm[celda x] = flujoResCapaPermX[izq] - flujoResCapaPermX[derecha] +
flujoResCapaPermY[abajo] - flujoResCapaPermY[arriba]
```

Apéndice **D**

Documento de Verificación y Validación

Plan de V&V del Software (SVVP)

Simulador Hidrológico
(Spanish Version)

09/04/2013
Author: Cristian Guerrero Córdova
Revisión: 1.0

Plan de V&V del Software (SVVP)

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
RD.1	User Requirements Document – Simulador Hidrológico	01-02-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.2	Software Specification Document – Simulador Hidrológico	08-02-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.3	Detailed Design Document - Simulador Hidrológico	01-03-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.4	ESA PSS-05-05 Issue 1 Revision 1 - Guide to the software detailed design and production phase	March, 1995	ESA Board for Software Standardisation and Control

Plan de V&V del Software (SVVP)

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES.....	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	<i>PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO.....</i>	4
1.2	<i>DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</i>	4
1.3	<i>REFERENCIAS.....</i>	4
1.4	<i>RESUMEN DEL DOCUMENTO.....</i>	4
2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL REGISTRO DE UN CASO DE PRUEBA.....	5
2.1	<i>IDENTIFICACIÓN DEL CASO DE PRUEBA.....</i>	5
2.2	<i>MÉTODOS DE VERIFICACIÓN</i>	5
2.2.1	<i>Verificación por Revisión de Diseño.....</i>	6
2.2.2	<i>Verificación por Operación</i>	6
2.2.3	<i>Verificación por Análisis.....</i>	6
2.2.4	<i>Verificación por Inspección</i>	6
2.2.5	<i>Verificación por Testing</i>	6
2.3	<i>PRESENTACIÓN Y REGISTRO DE LOS PROCEDIMIENTOS</i>	6
2.4	<i>REGISTRO DE RESULTADOS</i>	7
3	DEFINICIÓN DEL PLAN DE VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN	9
3.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	9
3.2	<i>LISTADO DE PROCEDIMIENTOS DE TEST</i>	9
3.3	<i>LISTADO DE REVISIONES DE DISEÑO</i>	9
4	MATRIZ DE VERIFICACIÓN Y CONFORMIDAD	10
5	PROCEDIMIENTOS DE TEST.....	12
5.1	EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN SIN PLANCHADO - SYS-V-0001	12
5.1.1	<i>Descripción del procedimiento.....</i>	12
5.1.2	<i>Procedimiento subcaso SYS-V-0001-1.....</i>	13
5.1.3	<i>Procedimiento subcaso SYS-V-0001-2.....</i>	14
5.1.4	<i>Procedimiento subcaso SYS-V-0001-3.....</i>	15
5.2	EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON PLANCHADO E IMPRESIÓN DE MATRIZ DE CLUSTERS- SYS-V-0002.....	17
5.2.1	<i>Descripción del procedimiento.....</i>	17
5.2.2	<i>Procedimiento SYS-V-0002</i>	18

Plan de V&V del Software (SVVP)

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento describe el Plan de Test y los procedimientos definidos para realizar la verificación y validación del sistema de **Simulador Hidrológico**.

1.2 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción

1.3 Referencias

No Aplica

1.4 Resumen del documento

En el capítulo dos se describen los estándares definidos para la codificación de los procedimientos, tanto como su registración, la de sus resultados y cuáles son las métricas de calidad del plan de test.

El capítulo tres define el plan de test y se listan los procedimientos definidos.

En el capítulo cuatro se muestra la matriz de trazabilidad que muestra la absoluta cobertura de los requerimientos funcionales definidos para las unidades que componen el sistema.

En el capítulo cinco se describen los procedimientos de test definidos.

2 Descripción General del registro de un caso de prueba

Este capítulo presenta una descripción de la forma en que se llevará registro de los procedimientos y los resultados de las ejecuciones de los casos de test.

2.1 Identificación del caso de prueba

Para la identificación única de los procedimientos y los casos que los componen se utilizará el siguiente método de codificación compuesto por la siguiente cadena de caracteres genérica:

SSS-C-NNNN-Z

Donde:

- **SSS** corresponde a tres caracteres que identifican el tipo o contexto del procedimiento. Estos pueden ser: "SYS" en el caso que su ejecución incluya más de un subsistema, **caracteres variables** que identifican el subsistema en el que el caso de test se circumscribe o "ILS" en el caso que el procedimiento pertenezca a ILS&OPS.
- **C** es un carácter que indica la clase del procedimiento de prueba:
 - **A** por "Ensamblado"
 - **I** por "Integracion"
 - **V** por "Validacion"
 - **O** por "Operaciones" solo en el caso de IIs&Ops
 - **C** por "Contingencias"
 - **M** por "Mantenimiento"
- En este caso usaremos **V**.
- **NNNN** es un número de cuatro dígitos utilizado para enumerar el caso de test.
- **Z** es un número de un dígito utilizado para enumera el subcaso de test.

2.2 Métodos de verificación

Dependiendo del tipo de cada requerimiento, se aplicará el correspondiente método de verificación elegido entre las siguientes opciones:

- **Análisis [A]:** Este método de verificación implica el uso de análisis técnico tal como análisis de la ingeniería del sistema, estadística, modelos matemáticos y simulación.
- **Revisión de Diseño [D]:** Este método de verificación debe ser usado cuando aprobados documentos de diseño, descripciones técnicas, diagramas de ingeniería muestren claramente que el requerimiento se cumple.
- **Inspección [I]:** Verificación por inspección solo es realizada cuando la prueba es insuficiente o inapropiada. Este método de verificación es para aquellos requerimientos que se realizan normalmente mediante algún tipo de inspección visual. Esto incluiría la fabricación, etiquetado, requerimientos de envoltura, etc. Ejemplos de este tipo de verificación son "La zona estará rodeada por una valla" o "Centros de control deberán ser comunicados por voz".

Plan de V&V del Software (SVVP)

- **Testing [T]:** Un requerimiento puede debe ser verificado por *Testing* si la forma de la especificación es tal que el requerimiento puede ser directamente medido.
- **Operación [O]:** Este método de verificación puede ser usado cuando documentos de ILS&Ops aprobados documentos This verification method may be used when approved ILS&Ops documents (Plan de Operaciones, Plan de Mantenimiento, Plan de Contingencia, Plan de capacitación de personal y procedimientos) y simulaciones de operación muestran claramente que el requerimiento se cumple.

2.2.1 Verificación por Revisión de Diseño

Cada requerimiento verificado por *Revisión de Diseño* tendrá uno o más documentos que lo verifican.

2.2.2 Verificación por Operación

Cada requerimiento verificado por *Operación* será verificado cuando el procedimiento para la operación que cumple esta en su lugar y una simulación de la operación es realizada y reportada.

2.2.3 Verificación por Análisis

Cada requerimiento verificado por análisis sera verificado cuando el análisis que lo verifica es realizado y documentado.

2.2.4 Verificación por Inspección

Requerimientos verificados por inspección serán cerrados (verificados) cuando haya un reporte sobre una inspección visual.

2.2.5 Verificación por Testing

Requerimientos verificados por *Testing* tundrán uno o más casos de test que lo verifican. Los casos y procedimientos de Tests son definidos en este document.

2.3 Presentación y registro de los procedimientos

El procedimiento de prueba es una lista cronológica de los pasos a ser ejecutados por cada test. Primero se exhibe una descripción general del caso de test (Figura 1).

ID del Test	Id que identifica el caso, referenciado en el campo ViD arriba en la tabla
Caso	Nombre del Caso
Descripción	Breve descripción del test
Propósito del Test	Propósito del test
Sub-caso de Test	Sub-caso del test
Participantes	Entidades que participant en el test. Por ejemplo responsible, ejecutor, etc.
Criterio de éxito	Criterio de Éxito del test
Duración	Duración del test
Conjunto de datos requerido	Entradas necesarias para el test, tles como archives, configuraciones, etc.
Herramientas Requeridas	Herramientas para la ejecución del test, por ejemplo aplicaciones
Prerrequisitos	Todos los prerrequisitos para que se pueda ejecutar el test: por ejemplo Base de datos de estado, servicios de aplicación, etc.

Figura 1 – Descripción General del Caso de Test

Plan de V&V del Software (SVVP)

Luego se detalla el procedimiento de test que adopta la forma de la Figura 2 donde cada paso es especificado, como así también el resultado esperado. Las demás columnas son reservadas para completar con los resultados de la ejecución de cada paso.

TEST PROCEDURE		Test Name:		
Test Id.: PPPP-SSS-C-NNNN-L		Test Sub-case:		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS:			
A.1				
A.2				
B	CHECKS:			
B.1				
B.2				
Date:	dd.mm.yy	Test Responsible Signature:		

Figura 2 – Tabla de Procedimientos de Test

2.4 Registro de resultados

Para facilitar el monitoreo de test en curso y tener una clara evidencia de los resultados de test, las plantillas de datos de test preparadas para detallar los pasos de procedimiento definirán el resultado esperado de cada paso. Cada test se llevará a cabo siguiendo los pasos de secuencia especificados por el procedimiento, y el resultado de cada paso se comparará con el resultado esperado.

En caso de discrepancia de los resultados obtenidos con respecto a lo previsto, una solución inmediata de problemas será realizada por el operador de prueba para verificar el motivo del problema ocurrido. El responsable del Test evaluará el impacto del problema y la oportunidad de continuar con la ejecución del test o de suspenderlo esperando un análisis más profundo o adecuado para las acciones de recuperación.

La siguiente política se adoptará para la gestión de cualquier discrepancia o no conformidad encontrada durante las pruebas de ejecución:

- Si la discrepancia no viola ningún requerimiento específico y no impone una suspensión de las actividades de test, la discrepancia será anotada en la hoja y el test se completara.

Plan de V&V del Software (SVVP)

- De acuerdo con la naturaleza de la discrepancia, se llevará a cabo una investigación más a fondo para verificar cualquier posible acción y para decidir sobre la oportunidad de declarar el caso de test como **PASSED** o para programar su repetición.
- Si la discrepancia no es fácil de ser entendida y rápidamente solucionada y / o afecta a un requisito específico, un Reporte de Anomalía de Test (TAR) será llenado.
- El caso de test será entonces temporalmente declarado **FAILED** y se repetirá después de la acción de recuperación. Por el momento, si el problema no afecta a los subsiguientes casos de test, las actividades de test continuarán de acuerdo con el calendario nominal
- Si la discrepancia implica la imposibilidad de continuar las actividades de test o afecta a las actividades o el funcionamiento del próximo ciclo de casos de test, después de la emisión del Reporte de Test de Anomalías (TAR) para el caso de test **FAILED**, la operación del test será suspendida temporalmente y se convocará lo más rápido posible a una reunión en la cual participen todos los actores para analizar el problema, identificar las acciones correctivas y el plan de intervención que se deberá realizar.
- Una vez que el problema se haya resuelto, la operación de test se reiniciará desde el test fallido para seguir de acuerdo con la secuencia prevista.

El reporte de anomalía de Test será de la forma mostrada en la **Figura 2**. Una declaración formal de Clausura Anomalía (DAC) se publicará tan pronto como el problema de anomalía se haya resuelto. El formato se puede observar en la **Figura 3**

Session Test	Test Anomaly Report			Number TAR-NN					
Test Id. & Name:									
Anomaly Subject:									
Criticality Level:	High		Medium		Low				
Anomaly Description:									
Recommended Action:									
Issue Date: dd.mm.yy	Signature:								

Figura 2 – Tabla de Procedimientos de Test

EST Test Campaign	Declaration of Anomaly Closure	Number DAC-NN
Anomaly Report Number:	TAR-NN	
Anomaly Subject:		
Performed Action:		

Plan de V&V del Software (SVVP)

Anomaly Resolution:	
Closure Date: dd.mm.yy	Signature:

Figura 3 – Forma de declaración de Anomalía cerrada

3 Definición del Plan de Verificación y Validación

En esta sección se presenta una breve descripción del plan de V&V correspondiente al Sistema Simulador Hidrológico.

3.1 Introducción

Las pruebas y la revisión de diseño que se presentarán a continuación han sido diseñadas para caracterizar la performance y las funcionalidades del Sistema Simulador Hidrológico con el objetivo de satisfacer los requerimientos del proyecto.

3.2 Listado de Procedimientos de Test

A continuación se presenta la lista de procedimientos que servirán para verificar los requerimientos por el método de Testing.

Identificador del Caso de Test	Nombre del caso/sub-caso de Test
Ejecución de la simulación sin <i>planchado</i>	
SYS-V-0001-1	Asignación de valores a variables en archivo de configuración e inicio de la unidad – sin planchado.
SYS-V-0001-2	Personalización de datos de entrada y parámetros de ejecución – sin planchado.
SYS-V-0001-3	Inicio de la simulación, visualización de estado, localización y evaluación de resultados – sin planchado.
Ejecución de la simulación con <i>planchado</i> y escritura de matriz de clusters	
SYS-V-0002	Ejecución de la simulación con <i>planchado</i> y escritura de matriz de clusters

3.3 Listado de Revisiones de Diseño

A continuación se presenta la lista de revisiones de diseño que se deben llevar a cabo para verificar los requerimientos por Revisión de Diseño.

Identificador del Caso de Test	Nombre del caso/sub-caso de Test
Modularidad del Simulador Hidrológico	
SYS-V-0003	Ánalysis sobre la modularidad del Simulador Hidrológico

4 Matriz de Verificación y Conformidad

Req. ID	Level 3 Ground Segment Requirement	Verification Method	Verification ID
SR.1.1	Se debe tomar como base el modelo hidrológico descripto en RD.1 y AD.1 obteniendo como salidas exactamente los mismos resultados de dicho modelo [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B
SR.1.2	En cada paso de ejecución global el sistema deberá ser capaz de detectar lagunas que presenten el efecto de oscilaciones.[UR.3]	Testing	SYS-V-0002-A SYS-V-0002-B
SR.1.3	Las lagunas detectadas con el efecto de oscilaciones deberán ser estabilizadas o "planchadas".[UR.3]	Testing	SYS-V-0002-A SYS-V-0002-B
SR.2.1	El sistema deberá aceptar como datos de entrada: <ul style="list-style-type: none"> Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación. Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable. Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable. Altura de agua de la capa permeable. Pronóstico de precipitaciones, se usará como altura de agua en superficie.[UR.1] 	Testing	SYS-V-0001-1
SR.3.1	Las actividades relevantes de ejecución se deberán registrar en un archivo de texto que contendrá fecha y hora de ocurrencia del evento. Estas actividades son: <ul style="list-style-type: none"> Inicio de la simulación Cuenta de paso de tiempo global. Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso, mostrando celda donde tuvo lugar. Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial. Límite de cantidad de pasos para escurrimiento superficial, solo si se excediera este límite. Escritura de resultados [UR.5] 	Testing	SYS-V-0001-3-D
SR.4.1	El sistema deberá generar resultados cada N cantidad de pasos de ejecución, donde N se debe leer por defecto del archivo de configuración o a través de la interfaz con el usuario. [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B

Plan de V&V del Software (SVVP)

Req. ID	Level 3 Ground Segment Requirement	Verification Method	Verification ID
SR.4.2	Al momento de generar resultados se escribirá el estado de las siguientes variables: <ul style="list-style-type: none">• Altura de agua sobre la superficie.• Altura de agua de la capa permeable [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B.2 SYS-V-0001-3-C.8
SR.5.1	El sistema debe presentar mejoras en cuanto a eficiencia en tiempo de ejecución de la simulación, en comparación con el prototipo original.[UR.6]	Testing	SYS-V-0002-D
SR.6.1	Se debe proveer una interfaz de usuario que permita elegir los datos de entrada que servirán para la simulación. [UR.2]	Testing	SYS-V-0001-2-B
SR.6.2	Se deberá llevar la cuenta de las salidas que se irán generando. Las salidas generadas deberán contener como nombre de archivo la secuencia de generación desde el inicio de la simulación. [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B.4
SR.6.3	Las salidas generadas se deberán poder abrir para su análisis con el programa ENVI. [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-C
SR.6.4	El sistema deberá contener un archivo de configuración en donde se defina: <ul style="list-style-type: none">• Ruta de los archivos de entrada y otros parámetros de ejecución que se deben leer por defecto.• Ruta donde se deben generar los archivos de salida o resultados de la simulación.• Dimensión (alto y ancho en cantidad de pixeles) de la zona donde se ejecutará la simulación.• Ruta donde se generen los archivos de reporte• Constantes de ejecución (Manning, Evaporación, etc).	Testing	SYS-V-0001-1
SR.7.1	Se debe proveer una interfaz de usuario gráfica que permita elegir los datos de entrada que servirán para la simulación. En la misma se deben poder elegir los datos de inicialización, los datos de contorno y los parámetros de tiempo.[UR.2]	Testing	SYS-V-0001-2-B
SR.8.1	El diseño del sistema debe ser modular separando cada proceso hidrológico y que provea interfaces bien definidas entre los componentes.[UR.7]	Revision de Diseño	SYS-V-0003

5 Procedimientos de Test

Este capítulo describe los procedimientos de test, definidos con el objetivo de verificar y validar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto comprobables mediante la ejecución de tests.

5.1 Ejecución de la simulación sin planchado - SYS-V-0001

5.1.1 Descripción del procedimiento

ID del Test	SYS-V-0001
Caso	Ejecución de la simulación sin planchado
Descripción	En este caso de test se ejecuta la simulación sin el proceso de planchado, los datos de entrada que usa para la simulación son las provistas por defecto con la instalación, estos datos de entrada son los mismos utilizados por el prototipo del simulador.
Propósito del Test	El propósito del test es ejecutar la simulación sin el proceso de planchado para así, poder comparar los resultados obtenidos con los mismos generados por el prototipo del simulador. En el transcurso del test también se verifican otros requerimientos del simulador como escritura en archivo de registro, existencia de archivo de configuración y algunas otras características del modo de ejecución.
Sub-caso de Test	SYS-V-0001-1 Asignación de valores a variables en archivo de configuración e inicio de la unidad – sin planchado. SYS-V-0001-2 Personalización de datos de entrada y parámetros de ejecución – sin planchado. SYS-V-0001-3 Inicio de la simulación, visualización de estado, localización y evaluación de resultados – sin planchado.
Participantes	Desarrollador del simulador.
Criterio de éxito	La ejecución de la simulación finaliza correctamente, las verificaciones intermedias se hacen correctamente. Los resultados generados por el simulador se corresponden con los provistos, generados por el prototipo del simulador.
Duración	1 dia.
Conjunto de datos requerido	<ul style="list-style-type: none">• Conjunto de datos de entrada necesarios para la ejecución. Estos datos de entrada son los mismos que fueron usados para la ejecución de la simulación con el prototipo:<ul style="list-style-type: none">○ Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación.○ Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable.○ Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable.○ Altura de agua de la capa permeable.○ Pronóstico de precipitaciones, se usará como altura de agua en superficie• Conjunto de datos de salida generados por la ejecución de la simulación con el prototipo:<ul style="list-style-type: none">○ Altura de agua sobre la superficie.○ Altura de agua de la capa permeableEste conjunto de datos representan los estados de agua superficial y de la capa permeable para x días de simulación, donde x es variable en los nombres de archivos provistos:<ul style="list-style-type: none">▪ aguaenC1_[x] – (para el agua en la capa permeable)

Plan de V&V del Software (SVVP)

	<ul style="list-style-type: none"> ■ aguaenS_[x] - (para el agua en la superficie) <p>Estos resultados fueron generados cada 24 pasos de tiempo (paso de tiempo en horas).</p>
Herramientas Requeridas	Envi 4.4. Editor de Texto.
Prerrequisitos	Los archivos que componen la unidad deben ser los que se proveen con la instalación de la unidad y en las carpetas que son ubicados por defecto.

5.1.2 Procedimiento subcaso SYS-V-0001-1

TEST PROCEDURE		Test Name: Ejecución de la simulación sin planchado Test Id.: SYS-V-0001-1 Test Sub-case: Asignación de valores a variables en archivo de configuración e inicio de la unidad – sin planchado.		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: La existencia del archivo de configuración de la unidad.			
A.1	Ubicarse en la carpeta de instalación de la unidad SimuladorHidrológico. Por defecto se instala en C:\SimuladorHidrológico	La carpeta de instalación debe existir.		
A.2	Localizar el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" y abrirlo con un editor de texto.	El archivo mencionado debe existir.		
A.3	Abrir el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" con un editor de texto plano.	El archivo es abierto correctamente con el editor de texto. Se muestra en formato XML.		
B	CHECKS: Lectura del archivo por parte de la unidad			
B.1	En el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" modificar algunos de los valores (valorX) de las variables de configuración: DEM = valor1 profundidadCapaPermeable=valor2 kConductividadHSuelo=valor3 capacidadAlmacenSuelo=valor4 aguaSuperfEntradaDefault=valor5 aguaCapa1EntradaDefault=valor6 con un valor cualquiera alfanumérico sin espacios, elegido por el usuario y guardar el archivo.	El valor de algunas variables es modificado con valores arbitrarios.		
B.2	Localizar el archivo SimuladorHidrológico.exe en la carpeta de instalación de la unidad, ejecutarlo.	El archivo existe y se inicia la unidad. Se muestra una ventana de interfaz gráfica: SimuladorHidrológico (Configuracion)		
B.3	Verificar en la ventana que aparece, que los campos de texto etiquetados como se describe, poseen los siguientes valores: * Agua Superficial Inicial: [carpetaDatosEntrada]\[valor5] * Agua Permeable Inicial: [carpetaDatosEntrada]\[valor6] *	Los campos de texto poseen los valores mencionados.		

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 09-04-2013

Version: 1.0

Plan de V&V del Software (SVVP)

	DEM: [carpetaDatosEntrada]\[valor1] * Profundidad Capa Permeable: [carpetaDatosEntrada]\[valor2] * Conductividad Hidraulica Suelo: [carpetaDatosEntrada]\[valor3] * Capacidad Almacenamiento Capa Permeable: [carpetaDatosEntrada]\ [valor4] donde "carpetaDatosEntrada" es tomada del archivo.			
B.4	Cerrar la ventana de configuración	El Simulador Hidrológico se cierra correctamente.		
Date: dd.mm.yy		Test Responsible Signature: xxx		

5.1.3 Procedimiento subcaso SYS-V-0001-2

TEST PROCEDURE		Test Name: Ejecución de la simulación sin planchado Test Id.: SYS-V-0001-2 Test Sub-case: Personalización de datos de entrada y parámetros de ejecución – sin planchado.		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: Configuración en modo “debug”			
A.1	Abrir el archivo de configuración y asignar el valor <code>true</code> a la variable <code>debugPlanchadoOption</code> . Guardar el archivo de configuración.	El archivo de configuración es abierto, modificado el valor de dicha variable y guardado.		
A.2	Iniciar el simulador hidrológico.	Se muestra la ventana de configuración del simulador.		
A.3	Tildar la opción “No Realizar Planchado” ubicada en el lado superior derecho.	La opción es tildada.		
B	CHECKS: Elección de los datos de entrada			
B.1	Para la etiqueta DEM, presionar el botón “Buscar”	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.		
B.2	Elegir el archivo “dem90_gk5_sua21b.dem” y presionar “Aceptar”	El archivo <code>dem90_gk5_sua21b.dem</code> debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración		
B.3	Para la etiqueta “Profundidad Capa Permeable”, presionar el botón “Buscar”	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.		
B.4	Elegir el archivo “profundidad.prof” y presionar “Aceptar”	El archivo <code>profundidad.prof</code> debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de		

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 09-04-2013

Version: 1.0

Plan de V&V del Software (SVVP)

		configuración		
B.5	Para la etiqueta "Conductividad Hidráulica Suelo", presionar el botón "Buscar"	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.		
B.6	Elegir el archivo "conductividadhidraulica.khs" y presionar "Aceptar"	El archivo conductividadhidraulica.khs debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración		
B.7	Para la etiqueta Capacidad Almacenamiento Capa Permeable, presionar el botón "Buscar"	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.		
B.8	Elegir el archivo "aguaalmacenable.cap" y presionar "Aceptar"	El archivo aguaalmacenable.cap debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración		
C	CHECKS: Verificación parámetros de tiempo			
C.1	Presionar sobre la pestaña "Parámetros de Tiempo"	Se debe abrir la pestaña de configuración de Parámetros de Tiempo		
C.2	Verificar que las etiquetas tienen los siguientes valores: * Cantidad de pasos de tiempo máximo de escurrimiento superficial. (Nts) = 300 * Cantidad de Horas de duración de la Simulación (Nt) = 1440 * Periodo de grabación de resultados = 24	Los parámetros de tiempo son como se especifican.		
Date: dd.mm.yyyy		Test Responsible Signature: xxx		

5.1.4 Procedimiento subcaso SYS-V-0001-3

TEST PROCEDURE Test Id.: SYS-V-0001-3	Test Name: Ejecución de la simulación sin planchado Test Sub-case: Inicio de la simulación, visualización de estado, localización y evaluación de resultados – sin planchado.			
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: Inicio de la simulación y generación de resultados			
A.1	Presionar el botón "Iniciar Simulación"	Se debe abrir la ventana de ejecución de la simulación.		
A.2	Esperar hasta que transcurran 120 pasos de ejecución (equivalente a 5 días). Esto se puede ver	Deben transcurrir 120 o		

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 09-04-2013

Version: 1.0

Plan de V&V del Software (SVVP)

	en la parte inferior izquierda de la ventana de ejecución.	más pasos de ejecución. El cuadro de texto de la parte inferior izquierda de la ventana informa el estado de la simulación.		
A.3	Ubicarse en la carpeta de resultados de la simulación. El nombre de esta carpeta puede obtenerse de la ventana de registro de eventos, al momento de informar de una escritura en disco de un resultado.	El nombre de la carpeta debe aparecer en la ventana de registro de eventos, debe existir y tener resultados generados.		
B	CHECKS: Frecuencia de generación de resultados y secuencia de nombres de archivo			
B.1	Situarse en la ventana de Ejecución de la simulación y observar el valor de la etiqueta: "Periodo de Grabación de Resultados". Parte superior derecha de la ventana. Este será el valor N.	Se debe anotar el valor de la etiqueta		
B.2	Recorrer la ventana de registro de actividades y verificar si se notifica sobre la grabación de resultados cada N pasos de tiempo.	Cada N pasos de tiempo se debe informar sobre grabación de resultado y la ruta de grabación.		
B.3	Ir a la carpeta de grabación de resultados y verificar que se encuentran los archivos que se informa que fueron grabados.	En la carpeta de resultados deben estar los archivos que se mencionan en el registro de eventos.		
B.4	Verificar que los nombres de archivo se encuentran en secuencia numérica observando también por la fecha y hora de creacion del archivo, la secuencia de generación.	Los archivos fueron generados en secuencia creciente.		
C	CHECKS: Los resultados generados son los estados de agua superficial y de la capa permeable y se corresponden con los provistos para el test, provenientes de la simulación con el prototipo			
C.1	Abrir la herramienta Envi 4.4	El programa se debe abrir correctamente.		
C.2	En el menú de opciones ir a File -> Open Image File	Se debe abrir un cuadro de diálogo de apertura de archivos llamado "Enter Data Filenames"		
C.3	Buscar la carpeta de generación de resultados del simulador. Esta fue determinada en el paso A.3	Se debe encontrar la carpeta con los resultados generados.		
C.4	Elegir los archivos: AguaSuperficie_1.agu AguaSuperficie_3.agu AguaSuperficie_5.agu	Debe aparecer la ventana de información del header.		
C.5	Ingresar la siguiente información (propia de la configuración de la simulación con archivos provistos por instalación): Samples: 913 Lines: 584 Bands: 1 Data Type: Floating Point Y Presionar OK	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.		

Plan de V&V del Software (SVVP)

C.6	Abrir de la misma manera (Pasos B.2-5) los archivos generados por el prototipo provistos para la ejecución del test: aguaens_1 aguaens_3 aguaens_5	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.		
C.7	Abrir cada conjunto de archivos en un Display diferente, eligiendo para 1 dia de ejecución el color Rojo (R), para 3 el verde (G) y para 5 azul (B).	Se deben abrir 2 displays, en donde se haya cargado un conjunto de archivos con distinto calor para cada cantidad de dias.		
C.8	Comparar con herramientos de Envi 4.4 las imágenes de ambos display.	Las imágenes debe ser iguales.		
Date: dd.mm.yy		Test Responsible Signature: xx		

5.2 Ejecución de la simulación con planchado e impresión de matriz de clusters- SYS-V-0002

5.2.1 Descripción del procedimiento

ID del Test	SYS-V-0002
Caso	Ejecución de la simulación con planchado y escritura de la matriz de clusters.
Descripción	En este caso de test se ejecuta la simulación con el proceso de planchado y con la escritura de la matriz de cluster cada vez que se graban los resultados, los datos de entrada que usa para la simulación son las provistas por defecto con la instalación, estos datos de entrada son lo mismo utilizados por el prototipo del simulador.
Propósito del Test	El propósito del test es ejecutar la simulación con el proceso de planchado e impresión de matriz de clusters para así cada 1 hora, poder comparar las lagunas reflejadas por la matriz de clusters con los resultados obtenidos por el prototipo del simulador. Se verificará que las lagunas (clusters) observados se corresponden con las zonas que presentan estado de agua superficial cuadriculado, esto se debe a las oscilaciones tipo Tablero de Ajedrez. En el transcurso del test también se verifican otros requerimientos del simulador como escritura en archivo de registro, existencia de archivo de configuración, eficiencia del simulador.
Sub-caso de Test	N/A
Participantes	Desarrollador del simulador.
Criterio de éxito	Las lagunas que se muestran en la matriz de clusters para un paso de ejecución dado se corresponde con el efecto cuadriculado del estado de agua superficial de los resultados provistos por el prototipo del simulador. Se registra en archivo de texto en disco los eventos más importantes.
Duración	1 dia.
Conjunto de datos requerido	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de datos de entrada necesarios para la ejecución. Estos datos de entrada son los mismos que fueron usados para la ejecución de la simulación con el prototipo: <ul style="list-style-type: none"> ○ Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación. ○ Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable.

Plan de V&V del Software (SVVP)

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable. ○ Altura de agua de la capa permeable. ○ Pronóstico de precipitaciones, se usará como altura de agua en superficie • Conjunto de datos de salida generados por la ejecución de la simulación con el prototipo: <ul style="list-style-type: none"> ○ Altura de agua sobre la superficie. ○ Altura de agua de la capa permeable Este conjunto de datos representan los estados de agua superficial y de la capa permeable para x días de simulación, donde x es variable en los nombres de archivos provistos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ aguaenC1_[x] – (para el agua en la capa permeable) ▪ aguaenS_[x] - (para el agua en la superficie) Estos resultados fueron generados cada 1 paso de tiempo (paso de tiempo en horas).
Herramientas Requeridas	Envi 4.4. Editor de Texto.
Prerrequisitos	Los archivos que componen la unidad deben ser los que se proveen con la instalación de la unidad y en las carpetas que son ubicados por defecto.

5.2.2 Procedimiento SYS-V-0002

TEST PROCEDURE		Test Name: Ejecución de la simulación con planchado y escritura de matriz de clusters Test Id.: SYS-V-0002 Test Sub-case: N/A		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: Configuración de la unidad e inicio de la simulación.			
A.1	Ubicarse en la carpeta de instalación de la unidad SimuladorHidrológico. Por defecto se instala en C:\SimuladorHidrológico	La carpeta de instalación existe.		
A.2	Localizar el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" y abrirlo con un editor de texto.	El archivo mencionado existe.		
A.3	Abrir el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" con un editor de texto plano.	El archivo es abierto correctamente con el editor de texto. Se muestra en formato XML.		
A.4	Asignar los siguientes valores a las variables de configuración y guardar el archivo de configuración. debugPlanchadoOption = true periodoGrabacionResult = 1	Los valores deben ser asignados y el archivo guardado.		
A.5	Iniciar el simulador hidrológico.	Se debe mostrar la ventana de configuración del simulador.		
A.6	Tildar la opción "Escribir Matriz Clusters" ubicada en el lado superior derecho.	La opción es tildada.		
A.7	Presionar el botón "Iniciar Simulación"	Se debe abrir la ventana de		

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 09-04-2013

Version: 1.0

Plan de V&V del Software (SVVP)

		ejecución de la simulación.		
A.8	Esperar hasta que transcurran al menos 10 pasos de ejecución. Esto se puede ver en la parte inferior izquierda de la ventana de ejecución.	Deben transcurrir 10 o más pasos de ejecución. El cuadro de texto de la parte inferior izquierda de la ventana informa el estado de la simulación.		
A.9	Ubicarse en la carpeta de resultados de la simulación. El nombre de esta carpeta puede obtenerse de la ventana de registro de eventos, al momento de informar de una escritura en disco de un resultado.	El nombre de la carpeta debe aparecer en la ventana de registro de eventos, debe existir y tener resultados generados.		
B	CHECKS: Los clusters que muestran los archivos ".clu" se corresponden con zonas cuadriculadas de los resultados provistos generados por el prototipo. Detección de lagunas.			
B.1	Abrir la herramienta Envi 4.4	El programa se debe abrir correctamente.		
B.2	En el menú de opciones ir a File -> Open Image File	Se debe abrir un cuadro de diálogo de apertura de archivos llamado "Enter Data Filenames"		
B.3	Buscar la carpeta de generación de resultados del simulador.	Se debe encontrar la carpeta con los resultados generados.		
B.4	Elegir los archivos MatrizClusters_1.clu AguaSuperficie_1.agu	Debe aparecer la ventana de información del header.		
B.5	Ingresar la siguiente información (propia de la configuración de la simulación con archivos provistos por instalación): Samples: 913 Lines: 584 Bands: 1 Data Type: Floating Point Y Presionar OK	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.		
B.6	Abrir de la misma manera (Pasos B.2-5) los archivos generados por el prototipo provistos para la ejecución del test: aguaens_1	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.		
B.7	Abrir los archivos MatrizClusters_1.clu, AguaSuperficie_1.agu y aguaenS_1 en distintos Displays y escala de grises.	Se deben abrir 3 displays, en donde se haya cargado en cada uno un archivo distinto en escala de grises.		
B.8	Verificar que las zonas que aparece en colores claros en la imagen MatrizClusters_1.clu se corresponde con zonas en donde se pueden observar imagen cuadriculada en aguaenS_1 y que en la misma zona en AguaSuperficie_1 no se muestra el efecto cuadriculado.	Zonas claras en MatrizClusters_1.clu se deben corresponder con zona cuadriculada en aguaenS_1. En la misma region en AguaSuperficie_1.agu no se observa cuadriculado.		
C	CHECKS: Las actividades relevantes de ejecución se registran en un archivo de texto.			

Plan de V&V del Software (SVVP)

C.1	Buscar en el archivo de configuración "SimuladorHidrologico.exe.config" el valor de la variable "carpetaArchivoLog"	Se debe observar el valor de la variable.		
C.2	Ir a la carpeta indicada por la variable carpetaArchivoLog en el archivo SimuladorHidrologico.exe.config y verificar que el archivo SimuladorHidrologico.log existe.	El archivo SimuladorHidrologico.log debe existir		
C.3	Abrir el archivo SimuladorHidrologico.log con un editor de texto y verificar que contiene el registro de las actividades con fecha y hora: <ul style="list-style-type: none"> • Inicio de la simulación • Cuenta de paso de tiempo global. • Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso, mostrando celda donde tuvo lugar. • Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial. • Límite de cantidad de pasos para escurrimiento superficial, solo si se excediera este límite. • Escritura de resultados 	El archivo debe abrirse con el editor de texto y contener el registro de las actividades mencionadas.		
D	CHECKS: El tiempo de la simulación con el simulador para 48 días de ejecución es más eficiente que el tiempo de ejecución de la simulación con el prototipo.			
D.1	Abrir el archivo SimuladorHidrologico.log localizado en el paso C.2 con un editor de texto y tomar nota de los tiempos cada 6 días de simulación usando la información de registro de grabación de resultado.	El archivo debe abrirse con el editor de texto y se debe poder tomar nota de los tiempos cada 6 días de simulación		
D.2	Comparar los tiempos de distintos simuladores (el prototipo y la nueva versión).	La nueva versión del simulador debe ser más eficiente.		
Date:	dd.mm.yy	Test Responsible Signature: xxx		

Apéndice **E**

Manual de Usuario de Software

Manual de Usuario del Software (SUM)

Simulador Hidrológico
(Spanish Version)

11/04/2013
Author: Cristian Guerrero Córdova
Revisión: 1.0

Manual de Usuario del Software (SUM)

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
RD.1	User Requirements Document – Simulador Hidrológico	01-02-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.2	Software Specification Document – Modelado de Simulación Hidrológica	08-02-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.3	Detailed Design Document - Modelado de Simulación Hidrológica	01-03-13	Cristian Guerrero Córdova

Manual de Usuario del Software (SUM)

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES.....	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	<i>DESTINATARIOS.....</i>	4
1.2	<i>APLICABILIDAD.....</i>	4
1.3	<i>PROPÓSITO</i>	4
1.4	<i>RESUMEN DEL DOCUMENTO.....</i>	4
2	DESCRIPCIÓN GENERAL	5
3	INSTALACIÓN Y DESINSTALACIÓN DE LA UNIDAD	6
3.1	<i>PROCESO DE INSTALACIÓN</i>	6
3.2	<i>PROCESO DE DESINSTALACIÓN</i>	8
4	CONFIGURACIÓN DE LA UNIDAD	9
5	SECCIÓN DE REFERENCIA.....	12
5.1	<i>DATOS DE ENTRADA.....</i>	12
5.2	<i>DESCRIPCIÓN FUNCIONAL.....</i>	12
5.3	<i>PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS.....</i>	14
5.4	<i>RESULTADOS</i>	15

Manual de Usuario del Software (SUM)

1 Introducción

1.1 Destinatarios

Esta unidad está apuntada a la simulación del flujo hidrológico. No se requiere un entrenamiento mayor para su operación debido a la simplicidad para la ejecución del algoritmo mediante la sencilla interfaz con el usuario. El usuario de esta aplicación pueda que necesite conocimientos mínimos de XML para generar el archivo de configuración necesario para correr satisfactoriamente el programa.

1.2 Aplicabilidad

Este manual de usuario se aplica a la unidad Modelado de Simulación Hidrológica, en su versión 1.0.

1.3 Propósito

El propósito de este manual es explicar la utilización de la unidad para poder obtener los resultados esperados por el usuario.

El propósito del software es la ejecución de los procesos hidrológicos que tienen lugar en una determinada zona y teniendo en cuenta propiedades y características del suelo. De esta manera, se podría simular con anticipación el comportamiento a futuro del agua y así poder predecir probables inundaciones.

1.4 Resumen del documento

Este documento está estructurado de la siguiente forma:

Sección 1: Provee una introducción al documento

Sección 2: Describe la unidad de manera general

Sección 3: Describe la instalación y desinstalación de la unidad.

Sección 4: Describe la configuración de la unidad.

Sección 5: Describe los modos de operación.

2 Descripción General

La aplicación Modelado de Simulación Hidrológica fue diseñada con el fin anticiparse en el tiempo a probables inundaciones, esto lo logra aplicando un modelado de simulación hidrológica con sus correspondientes procesos hidrológicos (escurrimiento, evapotranspiración, etc.).

Los datos de entrada que toma la unidad son archivos binarios con valores en punto flotante. Los productos de salida generados son el estado del agua de la capa superficial y de la capa permeable del suelo, tanto los datos de entrada como los productos generados pueden ser abiertos por ENVI para su análisis y evaluación.

El software es una aplicación de Windows que provee una interfaz gráfica de usuario la cual tiene dos instancias:

- De configuración: donde el usuario puede modificar parámetros de ejecución como archivos de entrada antes de iniciar la simulación.
- De ejecución: una vez iniciada la simulación se mostrara una ventana de estado de ejecución, donde se pueden observar los mensajes de registro de eventos generador por la ejecución y cancelar la simulación en curso.

3 Instalación y desinstalación de la unidad

3.1 Proceso de Instalación

El paquete de instalación de la unidad es un archivo comprimido con el formato zip cuyo nombre coincide con el de la unidad y su correspondiente versión. Para este caso el nombre del archivo de instalación de la unidad es:

SimuladorHidrologico_v1.0.zip

Para instalar la unidad debe descomprimir el paquete de instalación.

Ejecutar el archivo descomprimido SimuladorHidrologico.exe. Se abrirá la ventana de bienvenida a la instalación:



Figura 3.1.1 – Instalador de la unidad - Ventana de Bienvenida

En la siguiente ventana:

Manual de Usuario del Software (SUM)

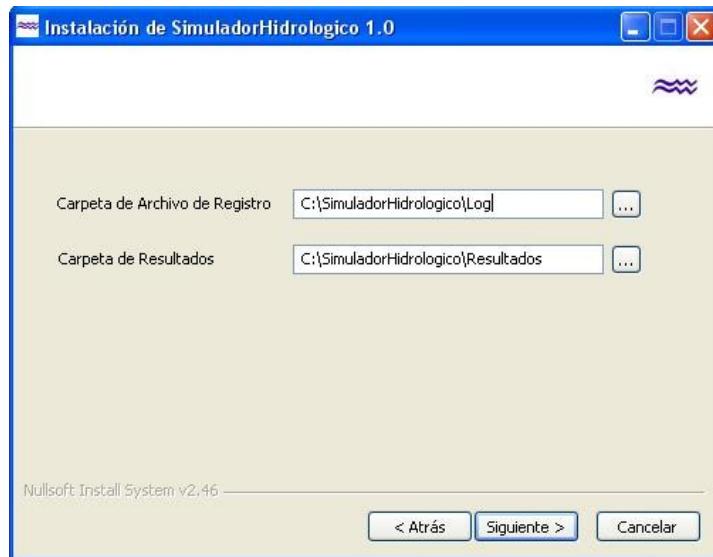


Figura 3.1.2 – Instalador de la unidad - Ventana de configuración de carpetas de salida

aparecen los valores por defecto de algunas de las variables de configuración, éstos pueden ser modificados. Corresponden a las carpetas en donde se escribirá el archivo de registro y los resultados de la simulación. Para saber que significa cada una de las variables de configuración ver sección 4. Configuración de la Unidad.

Luego se muestra la ventana para elegir el grupo de programas de trabajo del menú inicio de Windows:

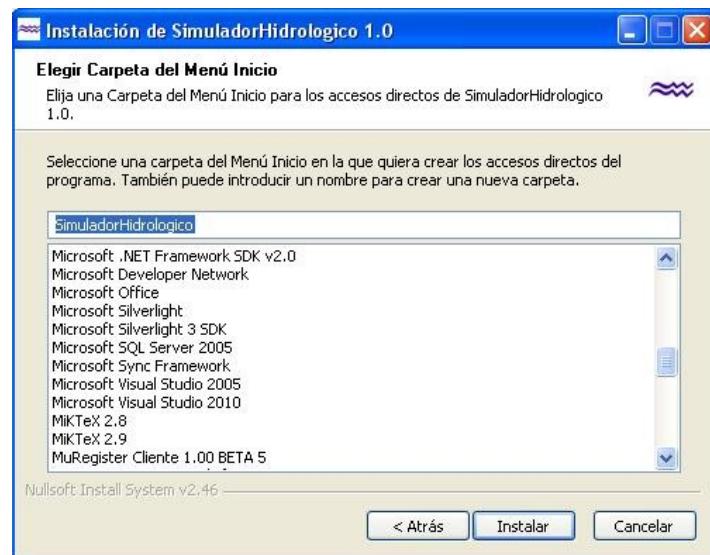


Figura 3.1.3 – Instalador de la unidad - Ventana de configuración de carpetas de salida

Una vez elegido el nombre del grupo de trabajo del menú inicio y presionando sobre "Instalar" se realiza la instalación de la unidad, cuando termina se muestra la siguiente ventana que nos ofrece la opción de ejecutar la unidad inmediatamente después de cerrar la ventana del instalador:

Manual de Usuario del Software (SUM)

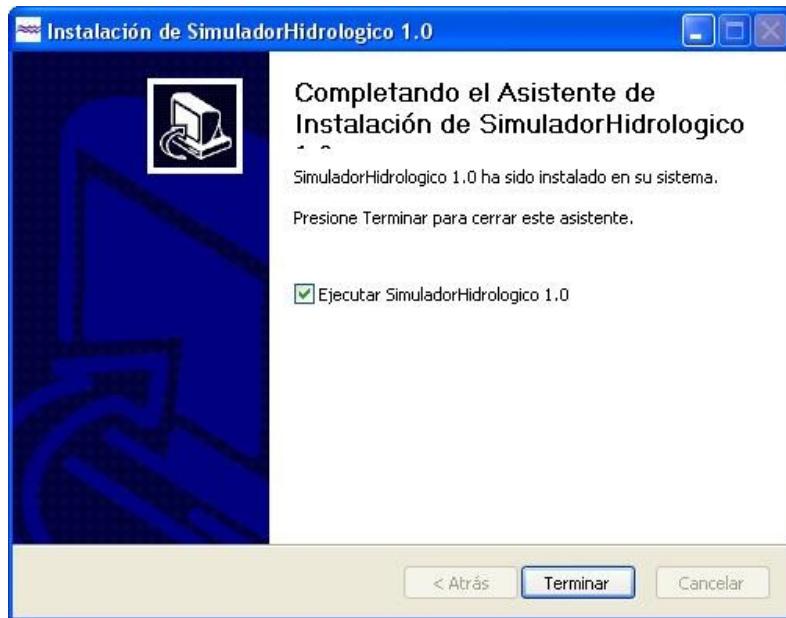


Figura 3.1.4 – Instalador de la unidad - Ventana Instalación exitosa.

3.2 Proceso de Desinstalación

Para la desinstalación de la unidad se puede ejecutar el archivo “uninst.exe” encontrado en la carpeta de la unidad, o a través del acceso directo desde “Menú Inicio->SimuladorHidrológico->Uninstall”. Luego de ejecutado desde cualquiera de estas ubicaciones aparecerá el siguiente diálogo:

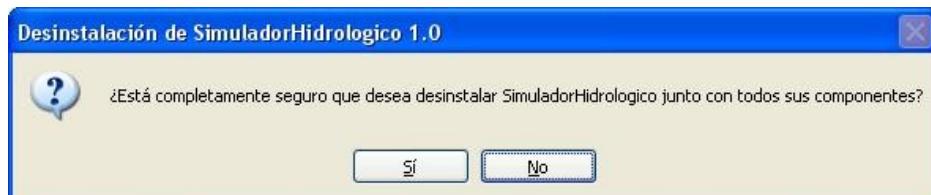


Figura 3.2.1 – Desinstalador de la unidad- Ventana confirmación de desinstalación.

Presionando sobre el botón “Sí” comenzará el proceso de desinstalación donde, si todo salió bien, informará sobre la desinstalación exitosa:

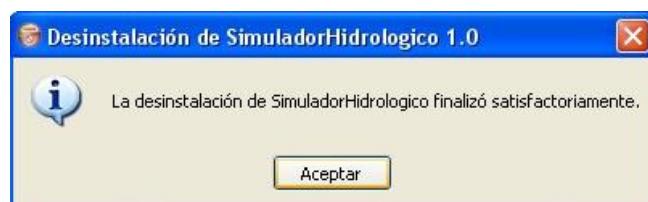


Figura 3.2.1 – Desinstalador de la unidad- Ventana confirmación de desinstalación.

Tener en cuenta que la carpeta de resultados y de registros de eventos (log) no serán borrados asumiendo que pueden ser útiles para el usuario.

Manual de Usuario del Software (SUM)

4 Configuración de la unidad

El formato del archivo de configuración es XML y los parámetros están representados de la siguiente forma dentro del archivo:

```
<add key="Parametro" value="Valor" />
```

Para modificar los parámetros de configuración se debe modificar lo que se encuentra en **Valor**.

```
<?xml version="1.0"?>
<configuration>
  <appSettings>
    <add key="carpetaDatosEntrada" value="C:\SimuladorHidrologico\Inputs"/>
    <add key="carpetaArchivoLog" value="C:\SimuladorHidrologico\Inputs"/>
    <add key="DEM" value="dem90_gk5_sua21b"/>
    <add key="profundidadCapaPermeable" value="profundidad"/>
    <add key="kConductividadHSuelo" value="conductividadhidraulica"/>
    <add key="capacidadAlmacenSuelo" value="aguaalmacenable"/>
    <add key="aguaSuperfEntradaDefault" value="aguainicialenS"/>
    <add key="aguaCapa1EntradaDefault" value="aguainicialenC1"/>
    <add key="coefManning" value="0,06"/>
    <add key="coefEvaporacion" value="-0,000125"/>
    <add key="carpetaResultados" value="C:\SimuladorHidrologico\Resultados"/>
    <add key="maxEscSupPasosNts" value="300"/>
    <add key="tiempoSimulacionHoras" value="1440"/>
    <add key="periodoGrabacionResult" value="24"/>
    <add key="anchoEjeX" value="913"/>
    <add key="altoEjeY" value="584"/>
    <add key="dimensionCelda" value="90,0"/>
    <add key="maxCantidadVariaciones" value="10"/>
  </appSettings>
<startup><supportedRuntime version="v4.0" sku=".NETFramework,Version=v4.0"/></startup>
</configuration>
```

Figura 4.1 - Ejemplo de archivo de configuración de la unidad SimuladorHidrologico

A continuación se presenta una tabla donde se detallan los parámetros que pueden encontrarse dentro del archivo de configuración. Para cada uno de los parámetros de configuración la tabla define el tipo de dato que soporta el parámetro, los posibles valores que puede tomar y la descripción del mismo.

Tipo	PosiblesValores	Descripción
carpetaDatosEntrada		
String	Cadena de texto con formato de ruta en disco	Indica la carpeta de donde se buscarán los datos de entrada de la unidad.
carpetaArchivoLog		
String	Cadena de texto con formato de ruta en disco	Indica la carpeta donde se escribirá el archivo de registro de eventos durante la ejecución de la simulación.
DEM		
String	Cadena de texto con caracteres válidos para nombres de	Indica el nombre de archivo del DEM que se cargará por defecto

Manual de Usuario del Software (SUM)

Tipo	PosiblesValores	Descripción
	archivo	en la ventana de interfaz gráfica de usuario.
profundidadCapaPermeable		
String	Cadena de texto con caracteres válidos para nombres de archivo	Indica el nombre del archivo que contiene las profundidades de suelo de la capa de suelo permeable que se cargará por defecto en la ventana de interfaz gráfica de usuario.
kConductividadHSuelo		
String	Cadena de texto con caracteres válidos para nombres de archivo	Indica el nombre del archivo que contiene los coeficientes de conductividad hidráulica de la capa de suelo permeable que se cargará por defecto en la ventana de interfaz gráfica de usuario.
capacidadAlmacenSuelo		
String	Cadena de texto con caracteres válidos para nombres de archivo	Indica el nombre del archivo que contiene la capacidad de almacenamiento de agua de la capa permeable del suelo que se cargará por defecto en la ventana de interfaz gráfica de usuario.
aguaSuperfEntradaDefault		
String	Cadena de texto con caracteres válidos para nombres de archivo	Indica el nombre del archivo que contiene las alturas de agua que hay inicialmente en la superficie que se cargará por defecto en la ventana de interfaz gráfica de usuario.
aguaCapa1EntradaDefault		
String	Cadena de texto con caracteres válidos para nombres de archivo	Indica el nombre del archivo que contiene las alturas de agua que hay inicialmente en la capa permeable del suelo que se cargará por defecto en la ventana de interfaz gráfica de usuario.
coefManning		
Real	Valores Reales	Indica el coeficiente de Manning.
coefEvaporacion		
Real	Valores Reales	Indica el coeficiente de evaporación.
carpetaResultados		
String	Cadena de texto con formato de ruta en disco	Indica la carpeta en donde se escribirán los resultados de la simulación

Manual de Usuario del Software (SUM)

Tipo	PosiblesValores	Descripción
<i>maxEscSupPasosNts</i>		
Int	Valores enteros positivos	Indica la cantidad maxima de pasos de ejecución del escurrimiento superficial.
<i>tiempoSimulacionHoras</i>		
Int	Valores enteros positivos	Indica la cantidad de horas de simulación que se ejecutarán
<i>periodoGrabacionResult</i>		
Int	Valores enteros positivos	Indica la cantidad de pasos de tiempo que hay entre una escritura de resultados y el siguiente.
<i>anchoEjeX</i>		
Int	Valores enteros positivos	Indica la dimensión horizontal de la zona en la que tiene lugar la simulación
<i>altoEjeY</i>		
Int	Valores enteros positivos	Indica la dimensión vertical de la zona en la que tiene lugar la simulación
<i>dimensionCelda</i>		
Real	Valores reales positivos	Indica el ancho en mts de cada celda del area de trabajo
<i>maxCantidadVariaciones</i>		
Int	Valores enteros positivos	Indica la cantidad maxima de variaciones permitidas para no considerar un flujo de agua como oscilación.

5 Sección de Referencia

5.1 Datos de Entrada

Los datos necesarios para la ejecución son archivo binario con datos de tipo flotante y de tamaño equivalente a la cantidad de ancho de la imagen por el alto:

- DEM: “Digital Elevation Model” o Modelo de Elevación Digital, representa el relieve de la zona. Cada valor del DEM representa en metros la altura de cada celda.
- Profundidad Capa Permeable: representa la altura de la primera capa del suelo o capa permeable, se encuentra representada en metros.
- Conductividad Hidráulica del Suelo: Dado que las propiedades del suelo pueden variar de un sector a otro se lee como dato de entrada este archivo binario que muestra esta propiedad del suelo. Representa el coeficiente de conductividad hidráulica para cada punto del área de simulación.
- Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo: así como la variable anterior mencionada, es una propiedad del suelo. Representa la capacidad que tiene la capa del suelo permeable para almacenar agua.
- Agua Superficial Inicial: el agua en superficie es un valor que varía a lo largo de toda la simulación. Este dato de entrada representa el estado inicial del agua en superficie.
- Agua en Capa Permeable Inicial: asimismo como el agua en superficie, el agua en capa permeable del suelo es un valor que varía a lo largo de toda la simulación. Este dato de entrada representa el estado inicial del agua en la capa permeable del suelo.

5.2 Descripción Funcional

El comportamiento de la unidad al iniciarse es el siguiente:

- Lee el archivo de configuración `SimuladorHidrologico.exe.config`.
- Se abre la interfaz gráfica de usuario en donde en la primera ventana se pueden configurar los parámetros de entrada para la ejecución de la simulación (Descriptos en [Sección 5.1](#)). La primera pestaña muestra los datos de entrada cargados por defecto del archivo de configuración donde el usuario puede seleccionar alguno distinto si así lo prefiere.

Manual de Usuario del Software (SUM)

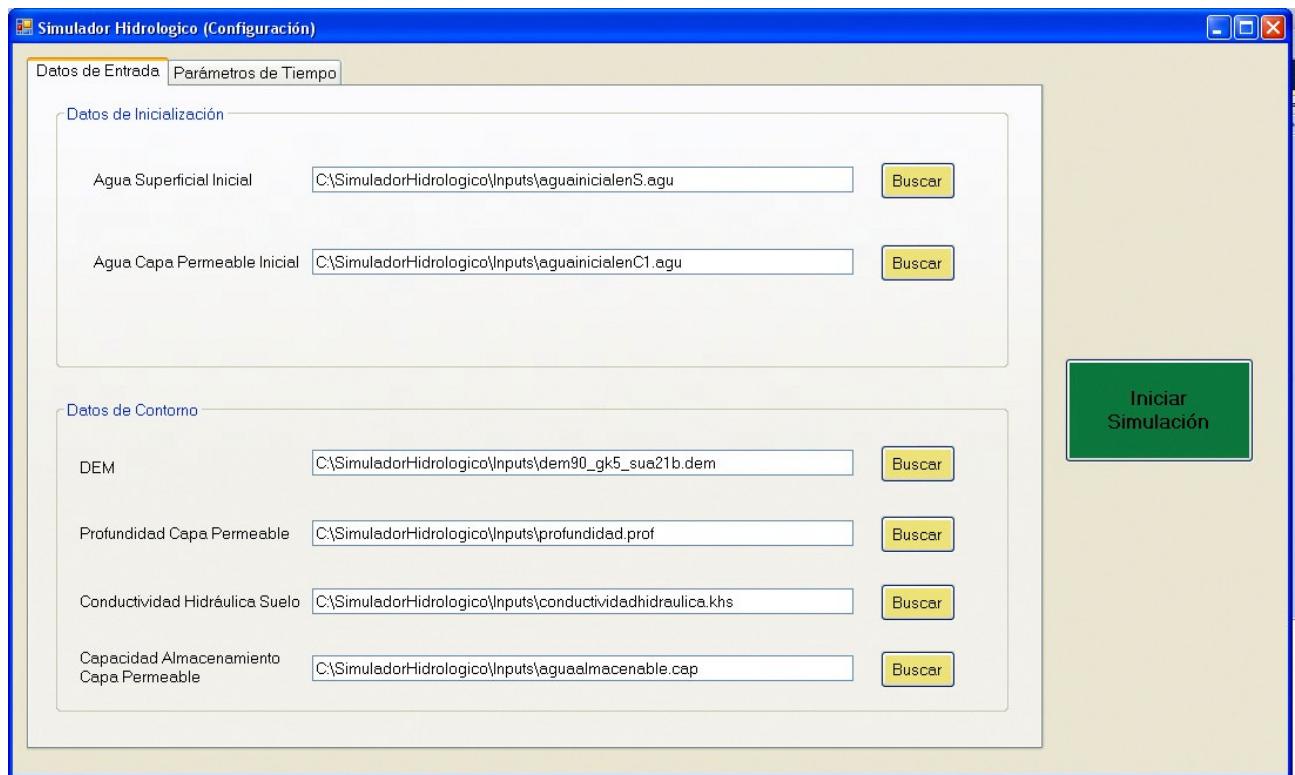


Figura 5.2.1 - Interfaz Gráfica de usuario – Ventana de configuración – Pestaña Datos de Entrada

En la siguiente pestaña se pueden modificar los parametros de ejecución que tienen que ver con el tiempo.

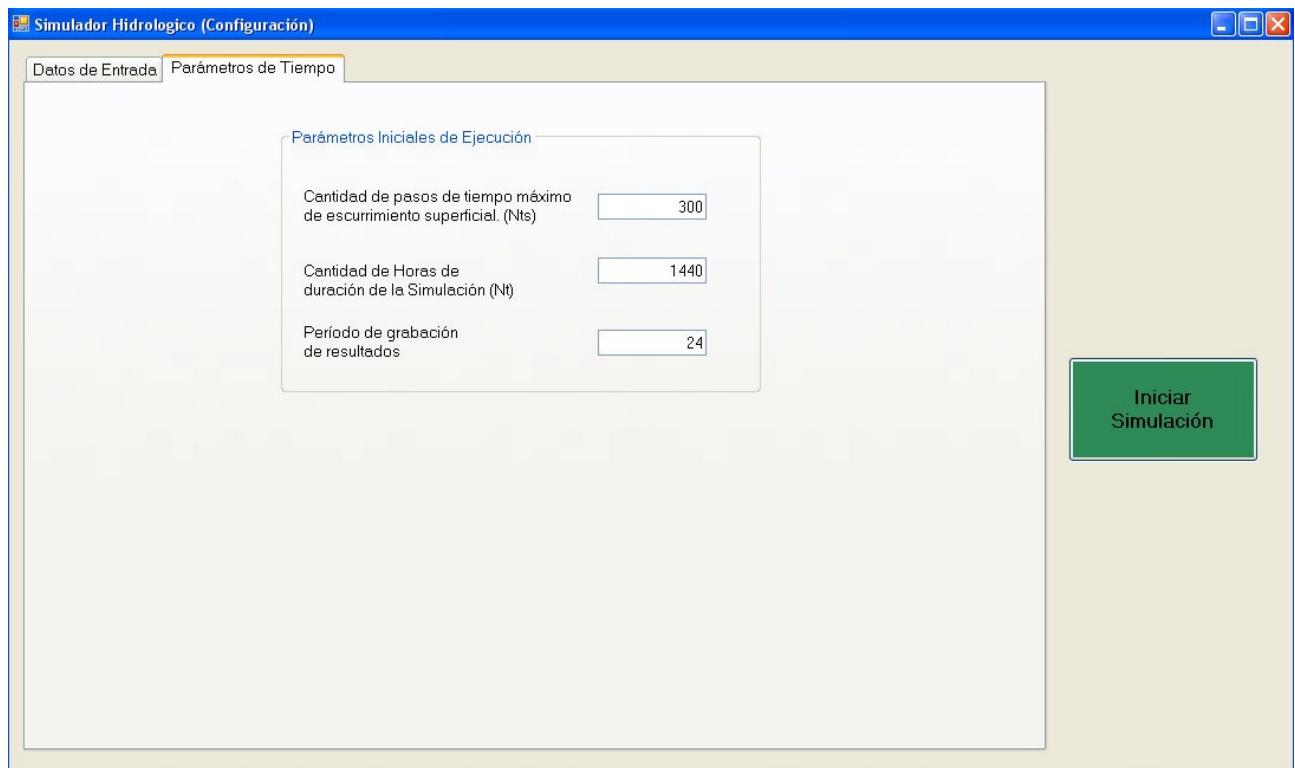


Figura 5.2.2 - Interfaz Gráfica de usuario – Ventana de configuración – Pestaña Parámetros de Tiempo

Manual de Usuario del Software (SUM)

Una vez que se establecen los parámetros de configuración de ejecución el usuario puede dar inicio a la simulación presionando sobre el botón “Iniciar Simulación”.

- Cuando el botón “Iniciar Simulación” es presionado se inicia la simulación y se muestra la ventana de estado de ejecución en donde se pueden ver los parámetros de configuración que fueron elegidos y el reporte de las actividades relevantes.

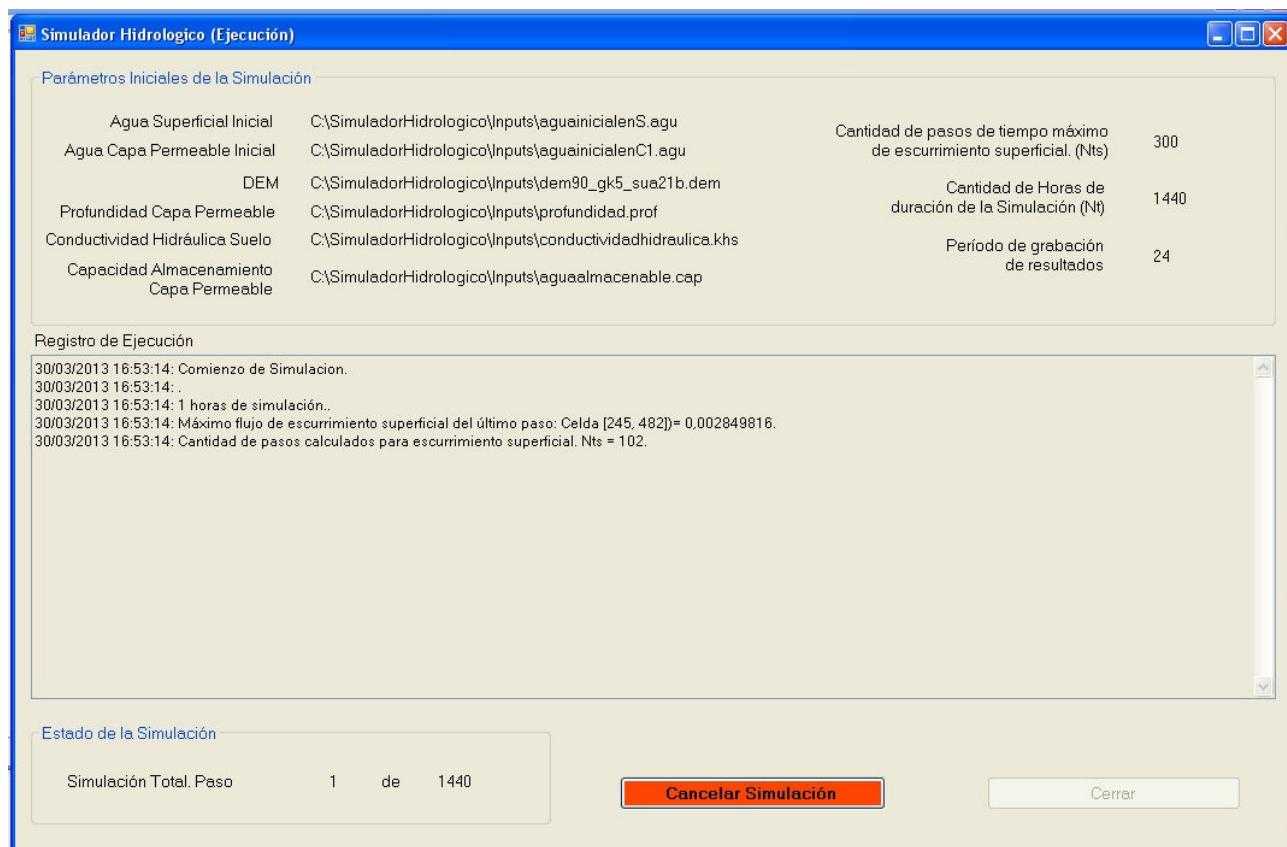


Figura 5.2.3 - Interfaz Gráfica de usuario – Ventana de ejecución de la simulación

La simulación puede ser cancelada presionando el botón “Cancelar Simulación”. Y posteriormente se puede cerrar la ventana de ejecución.

5.3 Precauciones y Advertencias

Una vez instalada la unidad, y antes de llamar a su ejecución el usuario debe asegurarse:

- El archivo de configuración `SimuladorHidrologico.xml` se encuentre en la misma ruta que el archivo ejecutable `SimuladorHidrologico.exe` y correctamente configurado según se especifica en la sección [4.0 Configuración de la Unidad](#)
- Los archivos definidos por las variables de configuración `carpetaDatosEntrada` en conjunto con `DEM`, `profundidadCapaPermeable`, `kConductividadHSuelo`, `capacidadAlmacenSuelo`, `aguaSuperfEntradaDefault`, `aguaCapa1EntradaDefault` deben existir y ser archivos binarios con tipo de datos numéricos flotante todos con las mismas dimensiones definidas por las variables de configuración `anchoEjeX` y `altoEjeY`.

5.4 Resultados

Se ejecutó una simulación bajo las siguientes condiciones:

- Datos de contorno: los archivos provistos con la primera implementación del modelo.
- Agua inicial en capa permeable 6 cm para todo el dominio.
- Superficial de 10 cm para un área de 400 píxeles x 200 píxeles.
- Parámetros de configuración provistas por archivo de configuración como los mostrados por la Figura 4.1, 5.2.1 y 5.2.2
- Parámetros de configuración ingresados en la ventana de configuración como se muestra en la Figura 5.2.1
- Parámetros de configuración ingresados en la ventana de configuración de tiempo como se muestra en la Figura 5.2.2

Y se obtuvieron los siguientes resultados:

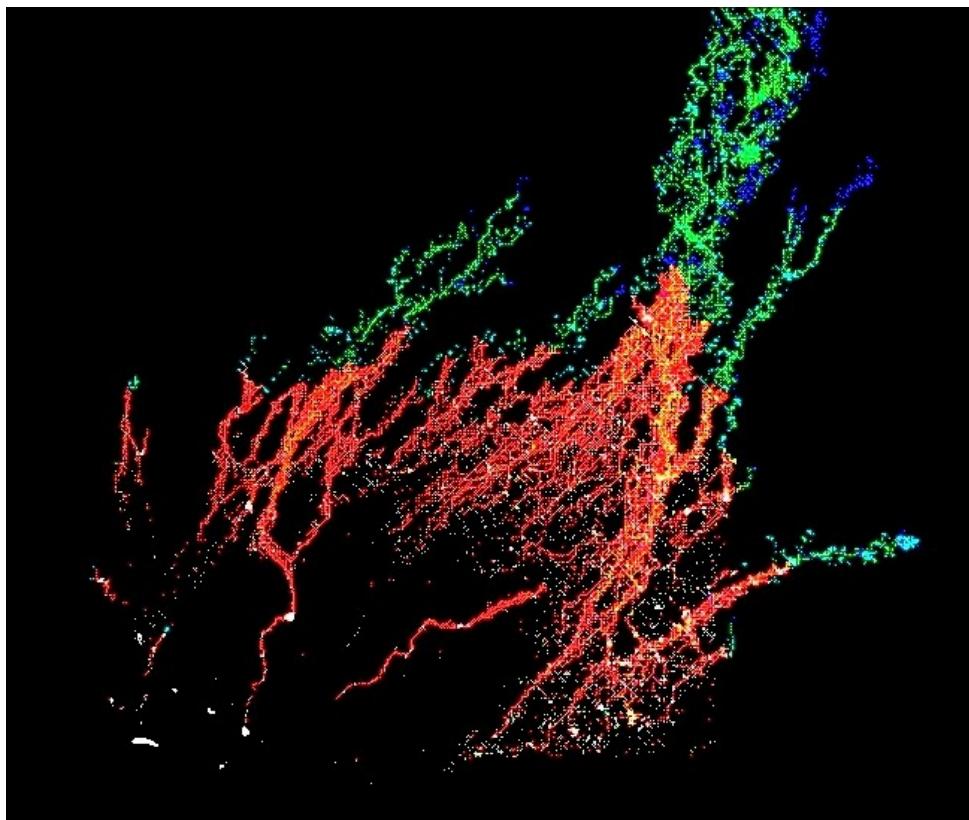


Figura 5.4.1 – Resultados Generados por el simulador – Imagen abierta con ENVI

La Figura 5.4.1 representa el estado del agua superficial luego de transcurridos 1 (en rojo), 5 (en verde) 10 (en azul) días de ejecución de la simulación. La imagen que muestra esta figura fue generada por ENVI luego de haber generado resultados con la ejecución

Apéndice **F**

Reporte de Verificación y Validación

Reportes de V&V del Software (SVVR)

Simulador Hidrológico
(Spanish Version)

19/04/2013
Author: Cristian Guerrero Córdova
Revisión: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

I. Historial de Revisiones

Número de Revisión	Fecha de Revisión	Autor	Resumen de Cambios

II. Documentos Relacionados

ID del documento	Nombre del documento	Fecha	Autor
RD.1	User Requirements Document – Simulador Hidrológico	01-02-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.2	Software Specification Document – Simulador Hidrológico	08-02-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.3	Detailed Design Document - Simulador Hidrológico	01-03-13	Cristian Guerrero Córdova
RD.4	ESA PSS-05-05 Issue 1 Revision 1 - Guide to the software detailed design and production phase	March, 1995	ESA Board for Software Standardisation and Control

Reportes de V&V del Software (SVVR)

III. Tabla de contenidos

I.	HISTORIAL DE REVISIONES.....	2
II.	DOCUMENTOS RELACIONADOS.....	2
III.	TABLA DE CONTENIDOS.....	3
1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	<i>PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO.....</i>	4
1.2	<i>DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</i>	4
1.3	<i>REFERENCIAS.....</i>	4
1.4	<i>RESUMEN DEL DOCUMENTO.....</i>	4
2	DEFINICIÓN DEL PLAN DE VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN	5
2.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	5
2.2	<i>LISTADO DE PROCEDIMIENTOS DE TEST.....</i>	5
2.3	<i>LISTADO DE REVISIONES DE DISEÑOS.....</i>	5
3	MATRIZ DE VERIFICACIÓN Y CONFORMIDAD	6
4	PROCEDIMIENTOS DE TEST.....	8
4.1	<i>EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN SIN PLANCHADO - SYS-V-0001</i>	8
4.1.1	<i>Descripción del procedimiento.....</i>	8
4.1.2	<i>Procedimiento subcaso SYS-V-0001-1.....</i>	9
4.1.3	<i>Procedimiento subcaso SYS-V-0001-2.....</i>	11
4.1.4	<i>Procedimiento subcaso SYS-V-0001-3.....</i>	15
4.2	<i>EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN CON PLANCHADO E IMPRESIÓN DE MATRIZ DE CLUSTERS- SYS-V-0002.....</i>	18
4.2.1	<i>Descripción del procedimiento.....</i>	18
4.2.2	<i>Procedimiento SYS-V-0002</i>	20
5	REVISIONES DE DISEÑO	25
5.1	<i>FLEXIBILIDAD A CAMBIOS DEL SIMULADOR HIDROLÓGICO - SYS-V-0003</i>	25
5.1.1	<i>Análisis sobre la flexibilidad a cambios del Simulador Hidrológico SYS-V-0003</i>	25

Reportes de V&V del Software (SVVR)

1 Introducción

1.1 Propósito de este documento

Este documento expone los reportes realizado luego de la ejecución de los procedimientos correspondientes al Plan de Test de Verificación para realizar la validación del sistema **Simulador de Simulación Hidrológica**.

1.2 Definiciones, acrónimos y abreviaciones

Acrónimo	Descripción

1.3 Referencias

No Aplica

1.4 Resumen del documento

El capítulo dos se define el plan de test y se listan los procedimientos definidos.

En el capítulo tres se muestra la matriz de trazabilidad que muestra la absoluta cobertura de los requerimientos funcionales definidos para las unidades que componen el sistema.

En el capítulo cuatro se describen los procedimientos de test definidos y el reporte de ejecución de los tests.

En el capítulo cinco se exponen las revisiones de diseño requeridas.

2 Definición del Plan de Verificación y Validación

En esta sección se presenta una breve descripción del plan de V&V correspondiente al Sistema Simulador Hidrológico.

2.1 Introducción

Las pruebas y la revisión de diseño que se presentarán a continuación han sido diseñadas para caracterizar la performance y las funcionalidades del Sistema Simulador Hidrológico con el objetivo de satisfacer los requerimientos del proyecto.

2.2 Listado de Procedimientos de Test

A continuación se presenta la lista de procedimientos que servirán para verificar los requerimientos por el método de Testing.

Identificador del Caso de Test	Nombre del caso/sub-caso de Test
Ejecución de la simulación sin <i>planchado</i>	
SYS-V-0001-1	Asignación de valores a variables en archivo de configuración e inicio de la unidad – sin planchado.
SYS-V-0001-2	Personalización de datos de entrada y parámetros de ejecución – sin planchado.
SYS-V-0001-3	Inicio de la simulación, visualización de estado, localización y evaluación de resultados – sin planchado.
Ejecución de la simulación con <i>planchado</i> y escritura de matriz de clusters	
SYS-V-0002	Ejecución de la simulación con <i>planchado</i> y escritura de matriz de clusters

2.3 Listado de Revisiones de Diseño

A continuación se presenta la lista de revisiones de diseño que se deben llevar a cabo para verificar los requerimientos por Revisión de Diseño.

Identificador del Caso de Test	Nombre del caso/sub-caso de Test
Modularidad del Simulador Hidrológico	
SYS-V-0003	Ánalisis sobre la modularidad del Simulador Hidrológico

3 Matriz de Verificación y Conformidad

Req. ID	Level 3 Ground Segment Requirement	Verification Method	Verification ID
SR.1.1	Se debe tomar como base el modelo hidrológico descripto en RD.1 y AD.1 obteniendo como salidas exactamente los mismos resultados de dicho modelo [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B
SR.1.2	En cada paso de ejecución global el sistema deberá ser capaz de detectar lagunas que presenten el efecto de oscilaciones.[UR.3]	Testing	SYS-V-0002-A SYS-V-0002-B
SR.1.3	Las lagunas detectadas con el efecto de oscilaciones deberán ser estabilizadas o "planchadas".[UR.3]	Testing	SYS-V-0002-A SYS-V-0002-B
SR.2.1	El sistema deberá aceptar como datos de entrada: <ul style="list-style-type: none"> • Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación. • Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable. • Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable. • Altura de agua de la capa permeable. • Pronóstico de precipitaciones, se usará como altura de agua en superficie.[UR.1] 	Testing	SYS-V-0001-1
SR.3.1	Las actividades relevantes de ejecución se deberán registrar en un archivo de texto que contendrá fecha y hora de ocurrencia del evento. Estas actividades son: <ul style="list-style-type: none"> • Inicio de la simulación • Cuenta de paso de tiempo global. • Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso, mostrando celda donde tuvo lugar. • Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial. • Límite de cantidad de pasos para escurrimiento superficial, solo si se excediera este límite. • Escritura de resultados [UR.5] 	Testing	SYS-V-0001-3-D
SR.4.1	El sistema deberá generar resultados cada N cantidad de pasos de ejecución, donde N se debe leer por defecto del archivo de configuración o a través de la interfaz con el usuario. [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B

Reportes de V&V del Software (SVVR)

Req. ID	Level 3 Ground Segment Requirement	Verification Method	Verification ID
SR.4.2	Al momento de generar resultados se escribirá el estado de las siguientes variables: <ul style="list-style-type: none">• Altura de agua sobre la superficie.• Altura de agua de la capa permeable [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B.2 SYS-V-0001-3-C.8
SR.5.1	El sistema debe presentar mejoras en cuanto a eficiencia en tiempo de ejecución de la simulación, en comparación con el prototipo original.[UR.6]	Testing	SYS-V-0002-D
SR.6.1	Se debe proveer una interfaz de usuario que permita elegir los datos de entrada que servirán para la simulación. [UR.2]	Testing	SYS-V-0001-2-B
SR.6.2	Se deberá llevar la cuenta de las salidas que se irán generando. Las salidas generadas deberán contener como nombre de archivo la secuencia de generación desde el inicio de la simulación. [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-B.4
SR.6.3	Las salidas generadas se deberán poder abrir para su análisis con el programa ENVI. [UR.1]	Testing	SYS-V-0001-3-C
SR.6.4	El sistema deberá contener un archivo de configuración en donde se defina: <ul style="list-style-type: none">• Ruta de los archivos de entrada y otros parámetros de ejecución que se deben leer por defecto.• Ruta donde se deben generar los archivos de salida o resultados de la simulación.• Dimensión (alto y ancho en cantidad de pixeles) de la zona donde se ejecutará la simulación.• Ruta donde se generen los archivos de reporte• Constantes de ejecución (Manning, Evaporación, etc).	Testing	SYS-V-0001-1
SR.7.1	Se debe proveer una interfaz de usuario gráfica que permita elegir los datos de entrada que servirán para la simulación. En la misma se deben poder elegir los datos de inicialización, los datos de contorno y los parámetros de tiempo.[UR.2]	Testing	SYS-V-0001-2-B
SR.8.1	El diseño del sistema debe ser modular separando cada proceso hidrológico y que provea interfaces bien definidas entre los componentes.[UR.7]	Revision de Diseño	SYS-V-0003

4 Procedimientos de Test

Este capítulo describe los procedimientos de test y el reporte de ejecución de los mismos, definidos con el objetivo de verificar y validar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto comprobables mediante la ejecución de tests.

4.1 Ejecución de la simulación sin planchado - SYS-V-0001

4.1.1 Descripción del procedimiento

ID del Test	SYS-V-0001
Caso	Ejecución de la simulación sin planchado
Descripción	En este caso de test se ejecuta la simulación sin el proceso de planchado, los datos de entrada que usa para la simulación son las provistas por defecto con la instalación, estos datos de entrada son los mismos utilizados por el prototipo del simulador.
Propósito del Test	El propósito del test es ejecutar la simulación sin el proceso de planchado para así, poder comparar los resultados obtenidos con los mismos generados por el prototipo del simulador. En el transcurso del test también se verifican otros requerimientos del simulador como escritura en archivo de registro, existencia de archivo de configuración y algunas otras características del modo de ejecución.
Sub-caso de Test	SYS-V-0001-1 Asignación de valores a variables en archivo de configuración e inicio de la unidad – sin planchado. SYS-V-0001-2 Personalización de datos de entrada y parámetros de ejecución – sin planchado. SYS-V-0001-3 Inicio de la simulación, visualización de estado, localización y evaluación de resultados – sin planchado.
Participantes	Desarrollador del simulador.
Criterio de éxito	La ejecución de la simulación finaliza correctamente, las verificaciones intermedias se hacen correctamente. Los resultados generados por el simulador se corresponden con los provistos, generados por el prototipo del simulador.
Duración	1 dia.
Conjunto de datos requerido	<ul style="list-style-type: none">• Conjunto de datos de entrada necesarios para la ejecución. Estos datos de entrada son los mismos que fueron usados para la ejecución de la simulación con el prototipo:<ul style="list-style-type: none">○ Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación.○ Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable.○ Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable.○ Altura de agua de la capa permeable.○ Pronóstico de precipitaciones, se usará como altura de agua en superficie• Conjunto de datos de salida generados por la ejecución de la simulación con el prototipo:<ul style="list-style-type: none">○ Altura de agua sobre la superficie.○ Altura de agua de la capa permeableEste conjunto de datos representan los estados de agua superficial y de la capa permeable para x días de simulación, donde x es variable en los nombres de archivos provistos:

Reportes de V&V del Software (SVVR)

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ aguaenC1_[x] – (para el agua en la capa permeable) ▪ aguaenS_[x] - (para el agua en la superficie) <p>Estos resultados fueron generados cada 24 pasos de tiempo (paso de tiempo en horas).</p>
Herramientas Requeridas	Envi 4.4. Editor de Texto.
Prerrequisitos	Los archivos que componen la unidad deben ser los que se proveen con la instalación de la unidad y en las carpetas que son ubicados por defecto.

4.1.2 Procedimiento subcaso SYS-V-0001-1

TEST PROCEDURE		Test Name: Ejecución de la simulación sin planchado Test Id.: SYS-V-0001-1 Test Sub-case: Asignación de valores a variables en archivo de configuración e inicio de la unidad – sin planchado.		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: La existencia del archivo de configuración de la unidad.			
A.1	Ubicarse en la carpeta de instalación de la unidad SimuladorHidrológico. Por defecto se instala en C:\SimuladorHidrológico	La carpeta de instalación debe existir.	La carpeta de instalación existe.	PASSED
A.2	Localizar el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" y abrirlo con un editor de texto.	El archivo mencionado debe existir.	El archivo mencionado existe.	PASSED
A.3	Abrir el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" con un editor de texto plano.	El archivo es abierto correctamente con el editor de texto. Se muestra en formato XML.	Se observa el archivo en formato XML (Figura 4.1.2.1)	PASSED
B	CHECKS: Lectura del archivo por parte de la unidad			
B.1	En el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" modificar algunos de los valores (valorX) de las variables de configuración: DEM = valor1 profundidadCapaPermeable=valor2 kConductividadHSuelo=valor3 capacidadAlmacenSuelo=valor4 aguaSuperfEntradaDefault=valor5 aguaCapa1EntradaDefault=valor6 con un valor cualquiera alfanumérico sin espacios, elegido por el usuario y guardar el archivo.	El valor de algunas variables es modificado con valores arbitrarios.	Las variables toman los siguientes valores: * DEM = pruebal * profundidadCapaPermeable = test2 * kConductividadHSuelo =aaaaaaaaaaaa * capacidadAlmacenSuelo = valorarbitrario (Figura 4.1.2.2)	PASSED
B.2	Localizar el archivo SimuladorHidrológico.exe en la carpeta de instalación de la unidad, ejecutarlo.	El archivo existe y se inicia la unidad. Se muestra una ventana de interfaz gráfica: SimuladorHidrológico (Configuracion)	Se muestra una ventana de interfaz gráfica.	PASSED
B.3	Verificar en la ventana que aparece, que los campos de texto etiquetados como se describe, poseen los siguientes valores: * Agua Superficial Inicial: [carpetaDatosEntrada]\[valor5] * Agua Permeable Inicial: [carpetaDatosEntrada]\[valor6]	Los campos de texto poseen los valores mencionados.	Valores observados: Agua Superficial Inicial: "C:\SimuladorHidrologico\Inputs\aguainicialS.agu" * Agua Permeable Inicial: "C:\SimuladorHidrologico\Inputs\aguainicialC1.agu"	PASSED

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

	<pre> * DEM: [carpetaDatosEntrada]\[valor1] * Profundidad Capa Permeable: [carpetaDatosEntrada]\[valor2] * Conductividad Hidraulica Suelo: [carpetaDatosEntrada]\[valor3] * Capacidad Almacenamiento Capa Permeable: [carpetaDatosEntrada]\[valor4] donde "carpetaDatosEntrada" es tomada del archivo. </pre>		<pre> * DEM: "C:\SimuladorHidrologico\Inputs \pruebal" * Profundidad Capa Permeable: "C:\SimuladorHidrologico\Inputs \test2" * Conductividad Hidraulica Suelo: "C:\SimuladorHidrologico\Inputs \aaaaaaaaaaa" * Capacidad Almacenamiento Capa Permeable: "C:\SimuladorHidrologico\Inputs \valorarbitrario" (Figura 4.1.2.3) </pre>	
B.4	Cerrar la ventana de configuración	El Simulador Hidrológico se cierra correctamente.	El Simulador Hidrológico se cierra correctamente.	
Date: 17.04.13		Test Responsible Signature: Cristian Guerrero Córdova		

```

<?xml version="1.0"?>
<configuration>
  <appSettings>
    <add key="carpetaDatosEntrada" value="C:\SimuladorHidrologico\Inputs"/>
    <add key="carpetaArchivoLog" value="C:\SimuladorHidrologico\Log"/>
    <add key="DEM" value="dem90_gk5_sua21b.dem"/>
    <add key="profundidadCapaPermeable" value="profundidad.prof"/>
    <add key="kConductividadHSuelo" value="conductividadhidraulica.khs"/>
    <add key="capacidadAlmacenSuelo" value="agu almacenable.cap"/>
    <add key="aguaSuperfEntradaDefault" value="aguainicialenS.agu"/>
    <add key="aguaCapalEntradaDefault" value="aguainicialenC1.agu"/>
    <add key="coefManning" value="0,06"/>
    <add key="coefEvaporacion" value="-0,000125"/>
    <add key="carpetaResultados" value="C:\SimuladorHidrologico\Resultados"/>
    <add key="maxEscSupPasosNts" value="300"/>
    <add key="tiempoSimulacionHoras" value="1440"/>
    <add key="periodoGrabacionResult" value="24"/>
    <add key="anchoEjeX" value="913"/>
    <add key="altoEjeY" value="584"/>
    <add key="dimensionCelda" value="90,0"/>
    <add key="maxCantidadVariaciones" value="10"/>
    <add key="debugPlanchadoOption" value="true"/>
  </appSettings>
<startup><supportedRuntime version="v4.0"
sku=".NETFramework, Version=v4.0"/></startup></configuration>

```

Figura 4.1.2.1 Archivo de configuración provisto por la instalación (Paso A.3)

```

<?xml version="1.0"?>
<configuration>
  <appSettings>
    <add key="carpetaDatosEntrada" value="C:\SimuladorHidrologico\Inputs"/>
    <add key="carpetaArchivoLog" value="C:\SimuladorHidrologico\Log"/>
    <add key="DEM" value="pruebal"/>
    <add key="profundidadCapaPermeable" value="test2"/>
    <add key="kConductividadHSuelo" value="aaaaaaaaaaa"/>
    <add key="capacidadAlmacenSuelo" value="valorarbitrario"/>
    <add key="aguaSuperfEntradaDefault" value="aguainicialenS.agu"/>
    <add key="aguaCapalEntradaDefault" value="aguainicialenC1.agu"/>
    <add key="coefManning" value="0,06"/>
    <add key="coefEvaporacion" value="-0,000125"/>
    <add key="carpetaResultados" value="C:\SimuladorHidrologico\Resultados"/>
    <add key="maxEscSupPasosNts" value="300"/>
    <add key="tiempoSimulacionHoras" value="1440"/>
  </appSettings>

```

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

```
<add key="periodoGrabacionResult" value="24"/>
<add key="anchoEjeX" value="913"/>
<add key="altoEjeY" value="584"/>
<add key="dimensionCelda" value="90,0"/>
<add key="maxCantidadVariaciones" value="10"/>
<add key="debugPlanchadoOption" value="false"/>
</appSettings>
<startup><supportedRuntime version="v4.0"
sku=".NETFramework, Version=v4.0"/></startup></configuration>
```

Figura 4.1.2.2 Archivo de configuración con cambio de valores de variables (Paso B.1)

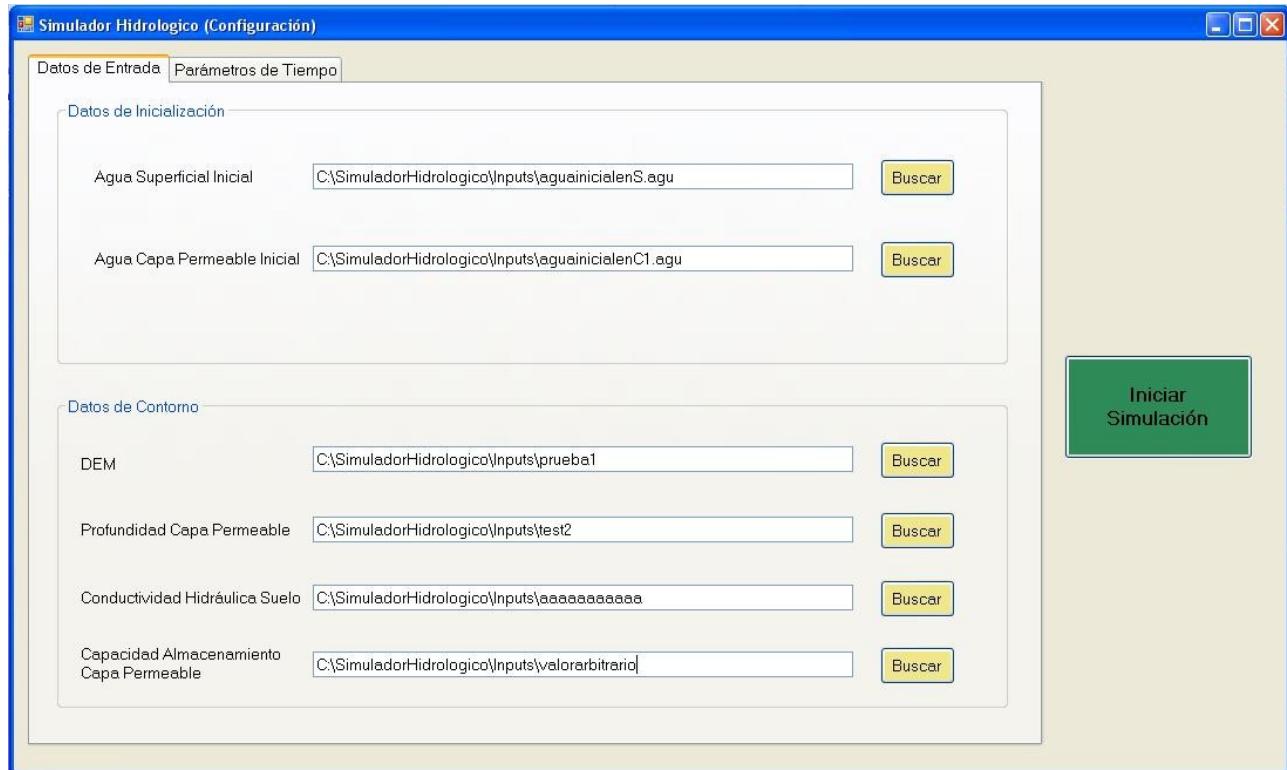


Figura 4.1.2.3 Archivo de configuración provisto por la instalación (Paso B.3)

4.1.3 Procedimiento subcaso SYS-V-0001-2

TEST PROCEDURE	Test Name: Ejecución de la simulación sin planchado Test Id.: SYS-V-0001-2 Test Sub-case: Personalización de datos de entrada y parámetros de ejecución – sin planchado.			
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: Configuración en modo "debug"			
A.1	Abrir el archivo de configuración y asignar el valor <code>true</code> a la variable <code>debugPlanchadoOption</code> . Guardar el archivo de configuración.	El archivo de configuración es abierto, modificado el valor de dicha variable y guardado.	El archivo de configuración es abierto, modificado el valor de dicha variable y guardado.	PASSED
A.2	Iniciar el simulador hidrológico.	Se muestra la ventana de configuración del simulador.	Se muestra la ventana de configuración del simulador.	PASSED
A.3	Tildar la opción "No Realizar Planchado" ubicada en el lado superior derecho.	La opción es tildada. (Figura 4.1.3.1)	La opción es tildada. (Figura 4.1.3.1)	PASSED

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

B	CHECKS: Elección de los datos de entrada			
B.1	Para la etiqueta DEM, presionar el botón "Buscar"	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.	Se abre un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto: C:\SimuladorHidrológico\Inputs.	PASSED
B.2	Elegir el archivo "dem90_gk5_sua21b.dem" y presionar "Aceptar"	El archivo dem90_gk5_sua21b.dem debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración	El archivo dem90_gk5_sua21b.dem existe y es cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración	PASSED
B.3	Para la etiqueta "Profundidad Capa Permeable", presionar el botón "Buscar"	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.	Se abre un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto: C:\SimuladorHidrológico\Inputs.	PASSED
B.4	Elegir el archivo "profundidad.prof" y presionar "Aceptar"	El archivo profundidad.prof debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración	El archivo profundidad.prof existe y es cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración	PASSED
B.5	Para la etiqueta "Conductividad Hidráulica Suelo", presionar el botón "Buscar"	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.	Se abre un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto: C:\SimuladorHidrológico\Inputs.	PASSED
B.6	Elegir el archivo "conductividadhidraulica.khs" y presionar "Aceptar"	El archivo conductividadhidraulica.khs debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración	El archivo conductividadhidraulica.khs existe y es cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración	PASSED
B.7	Para la etiqueta Capacidad Almacenamiento Capa Permeable, presionar el botón "Buscar"	Se debe abrir un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto.	Se abre un cuadro de diálogo en la carpeta de datos de entrada por defecto: C:\SimuladorHidrológico\Inputs.	PASSED
B.8	Elegir el archivo "aguaalmacenable.cap" y presionar "Aceptar"	El archivo aguaalmacenable.cap debe existir y debe ser cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración	El archivo aguaalmacenable.cap existe y es cargado en el cuadro de texto de la ventana de configuración Figura 4.1.3.2	PASSED
C	CHECKS: Verificación parámetros de tiempo			
C.1	Presionar sobre la pestaña "Parámetros de Tiempo"	Se debe abrir la pestaña de configuración de Parámetros de Tiempo	Se abre la pestaña de configuración de parámetros de tiempo.	PASSED
C.2	Verificar que las etiquetas tienen los siguientes valores: * Cantidad de pasos de tiempo máximo de escurrimiento superficial. (Nts) = 300 * Cantidad de Horas de duración de la Simulación (Nt) = 1440 * Período de grabación de resultados = 24	Los parámetros de tiempo son como se especifican. (Figura 4.1.3.3)	Los parámetros de tiempo son como se especifican. (Figura 4.1.3.3)	PASSED

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

Date:

17.04.13

Test Responsible Signature: Cristian Guerrero Córdova

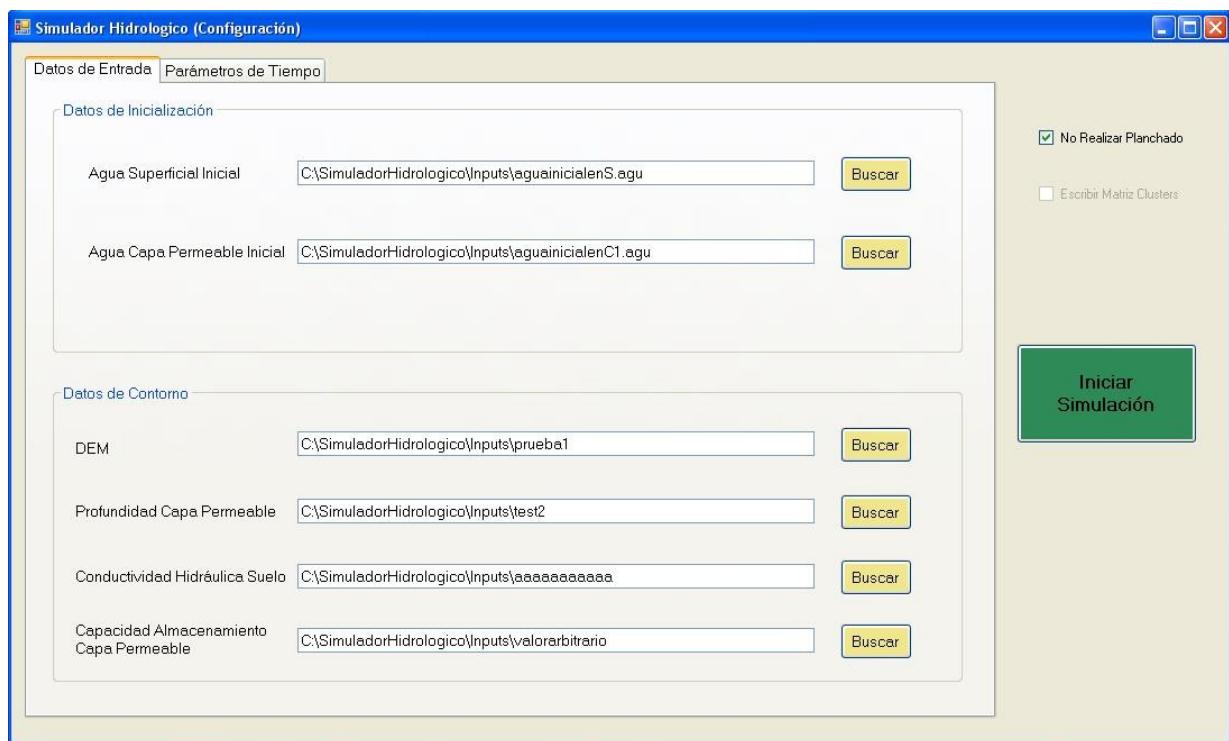


Figura 4.1.3.1 Ventana de configuración – Tilde de opción de Realizar Planchado (Paso A.3)

Reportes de V&V del Software (SVVR)

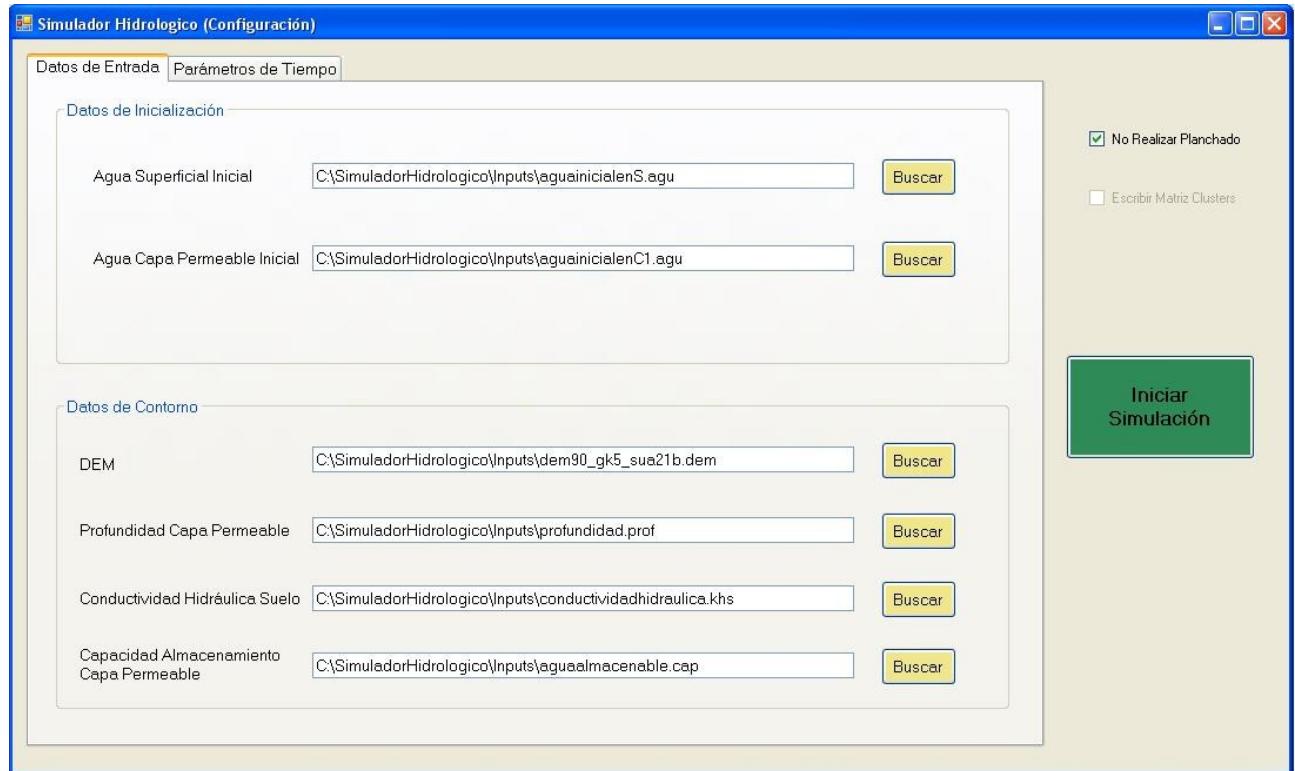


Figura 4.1.3.2 Ventana de configuración – Elección de datos de entrada (Paso B.1-8)

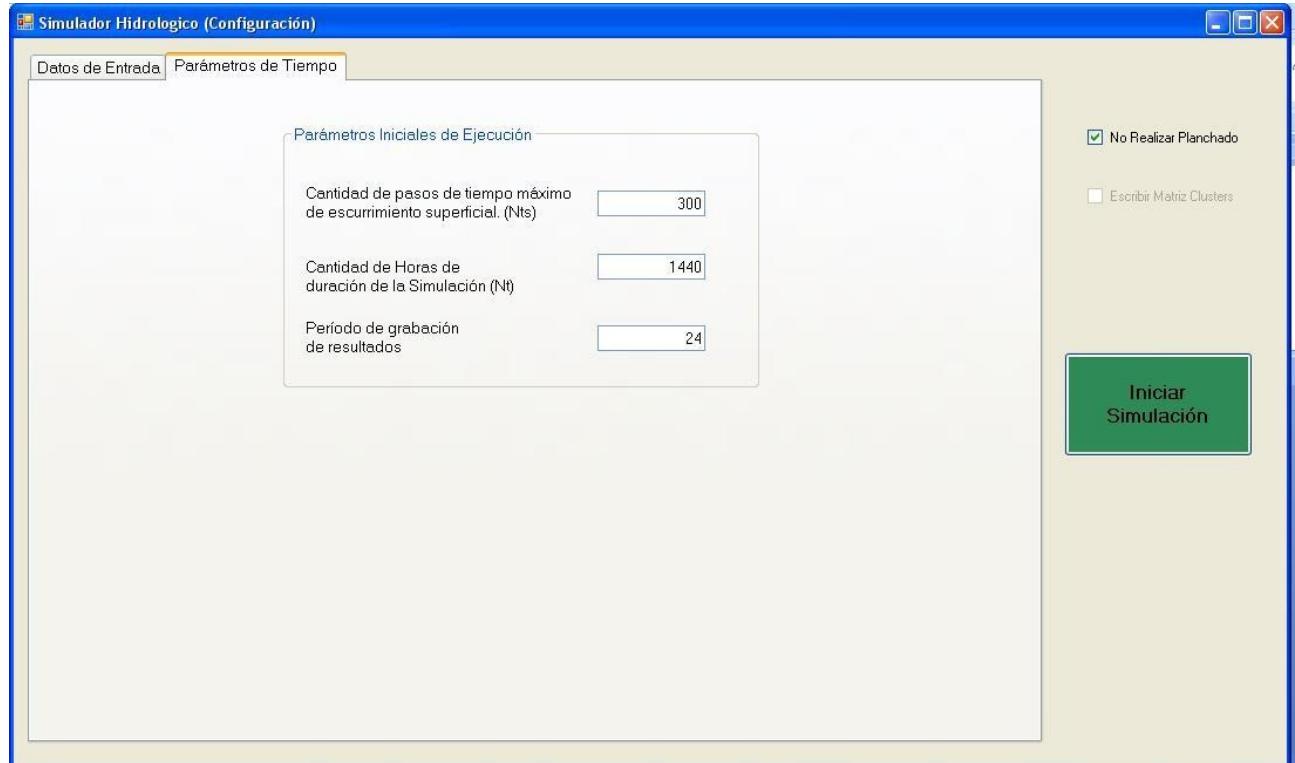


Figura 4.1.3.3 Ventana de configuración – Elección de datos de entrada (Paso C.2)

Reportes de V&V del Software (SVVR)

4.1.4 Procedimiento subcaso SYS-V-0001-3

TEST PROCEDURE Test Id.: SYS-V-0001-3		Test Name: Ejecución de la simulación sin planchado Test Sub-case: Inicio de la simulación, visualización de estado, localización y evaluación de resultados – sin planchado.		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: Inicio de la simulación y generación de resultados			
A.1	Presionar el botón “Iniciar Simulación”	Se debe abrir la ventana de ejecución de la simulación.	Se abre la ventana de ejecución. Se muestran los datos de entrada usados para la simulación y el registro de eventos. (Figura 4.1.4.1)	PASSED
A.2	Esperar hasta que transcurran 120 pasos de ejecución (equivalente a 5 días). Esto se puede ver en la parte inferior izquierda de la ventana de ejecución.	Deben transcurrir 120 o más pasos de ejecución. El cuadro de texto de la parte inferior izquierda de la ventana informa el estado de la simulación.	Se cumplen pasos de ejecución informado por la ventana ejecución.	PASSED
A.3	Ubicarse en la carpeta de resultados de la simulación. El nombre de esta carpeta puede obtenerse de la ventana de registro de eventos, al momento de informar de una escritura en disco de un resultado.	El nombre de la carpeta debe aparecer en la ventana de registro de eventos, debe existir y tener resultados generados.	La carpeta existe y se observan 10 archivos con extensión .agu	PASSED
B	CHECKS: Frecuencia de generación de resultados y secuencia de nombres de archivo			
B.1	Situarse en la ventana de Ejecución de la simulación y observar el valor de la etiqueta: “Periodo de Grabación de Resultados”. Parte superior derecha de la ventana. Este será el valor N.	Se debe anotar el valor de la etiqueta	La etiqueta muestra el valor 24.	PASSED
B.2	Recorrer la ventana de registro de actividades y verificar si se notifica sobre la grabación de resultados cada N pasos de tiempo.	Cada N pasos de tiempo se debe informar sobre grabación de resultado y la ruta de grabación.	Se observa que cada 24 pasos de tiempo se informa que se graban los estados de agua en carpeta de “C:\SimuladorHidrologico\Resultados” (Figura 4.1.4.2 y 4.1.4.3)	PASSED
B.3	Ir a la carpeta de grabación de resultados y verificar que se encuentran los archivos que se informa que fueron grabados.	En la carpeta de resultados deben estar los archivos que se mencionan en el registro de eventos.	En la carpeta de resultados están los archivos que se mencionan en el registro de eventos.	PASSED
B.4	Verificar que los nombres de archivo se encuentran en secuencia numérica observando también por la fecha y hora de creacion del archivo, la secuencia de generación.	Los archivos fueron generados en secuencia creciente.	Se observa que los archivos fueron generados secuencialmente según el nombre de archivo lo indica.	PASSED
C	CHECKS: Los resultados generados son los estados de agua superficial y de la capa permeable y se corresponden con los provistos para el test, provenientes de la simulación con el prototipo			
C.1	Abrir la herramienta Envi 4.4	El programa se debe abrir correctamente.	Se abre el menu de opciones de Envi 4.4	PASSED
C.2	En el menú de opciones ir a File -> Open Image File	Se debe abrir un cuadro de diálogo de apertura de	Se abre el cuadro de diálogo de apertura de	PASSED

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

		archivos llamado "Enter Data Filenames"	archivos llamado "Enter Data Filenames"	
C.3	Buscar la carpeta de generación de resultados del simulador. Esta fue determinada en el paso A.3	Se debe encontrar la carpeta con los resultados generados.	Se encuentra la carpeta con los resultados generados.	PASSED
C.4	Elegir los archivos: AguaSuperficie_1.agu AguaSuperficie_3.agu AguaSuperficie_5.agu	Debe aparecer la ventana de información del header.	Aparece la ventana que pide información del header del archivo.	PASSED
C.5	Ingresar la siguiente información (propia de la configuración de la simulación con archivos provistos por instalación): Samples: 913 Lines: 584 Bands: 1 Data Type: Floating Point Y Presionar OK	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.	Los archivos son correctamente cargados, muestra la lista de bandas disponibles.	PASSED
C.6	Abrir de la misma manera (Pasos B.2-5) los archivos generados por el prototipo provistos para la ejecución del test: aguaenS_1 aguaenS_3 aguaenS_5	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.	Los archivos son correctamente cargados, se muestra la lista de bandas disponibles.	PASSED
C.7	Abrir cada conjunto de archivos en un Display diferente, eligiendo para 1 dia de ejecución el color Rojo (R), para 3 el verde (G) y para 5 azul (B).	Se deben abrir 2 displays, en donde se haya cargado un conjunto de archivos con distinto calor para cada cantidad de días.	Se abren dos displays mostrando imágenes en Rojo, Verde y Azul.	PASSED
C.8	Comparar con herramientos de Envi 4.4 las imágenes de ambos display.	Las imágenes deben ser iguales.	Las imágenes son iguales. (Figura 4.1.4.4)	PASSED
Date: 17.04.13		Test Responsible Signature: Cristian Guerrero Córdova		

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

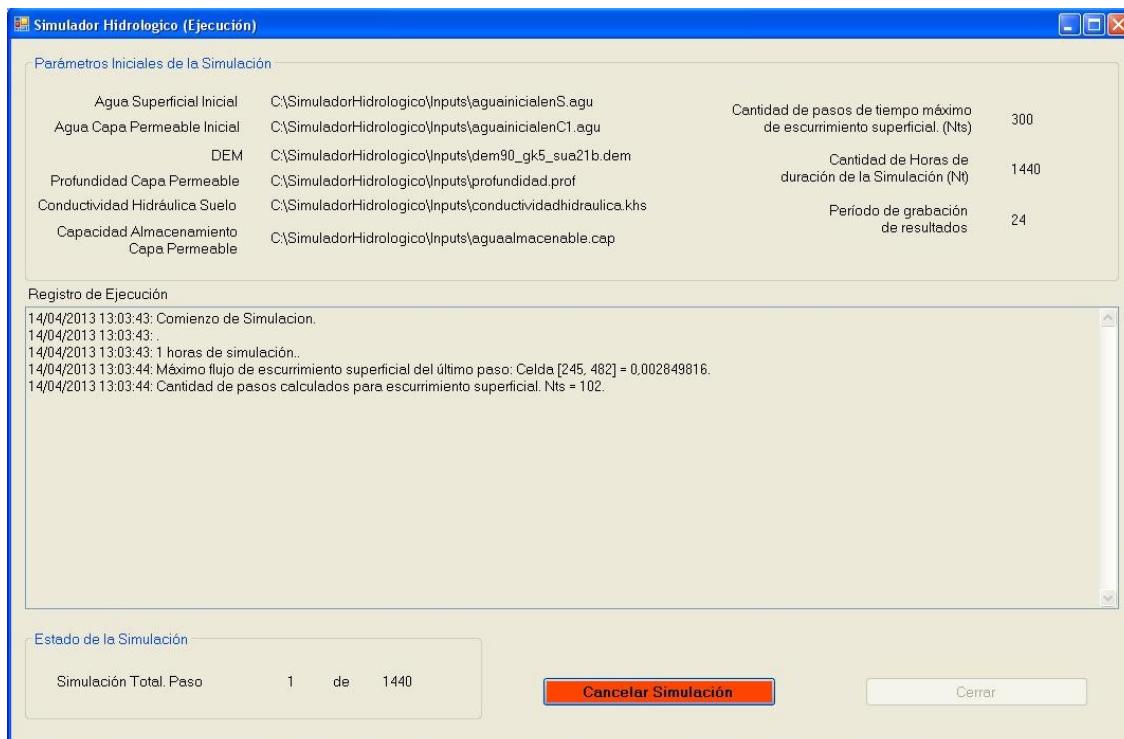


Figura 4.1.4.1 Ventana de ejecución – Se muestran datos de entrada elegidos para la simulación (Paso A.1)

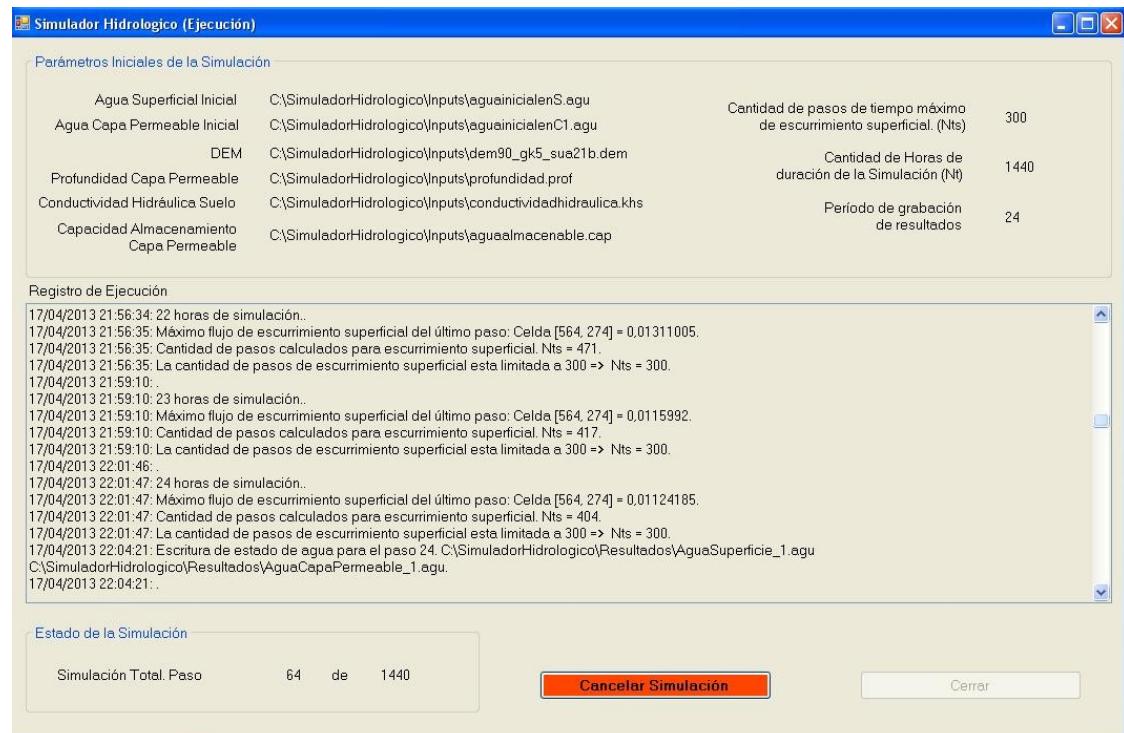


Figura 4.1.4.2 Ventana de ejecución – Se muestran datos de entrada elegidos para la simulación (Paso B.2)

Reportes de V&V del Software (SVVR)

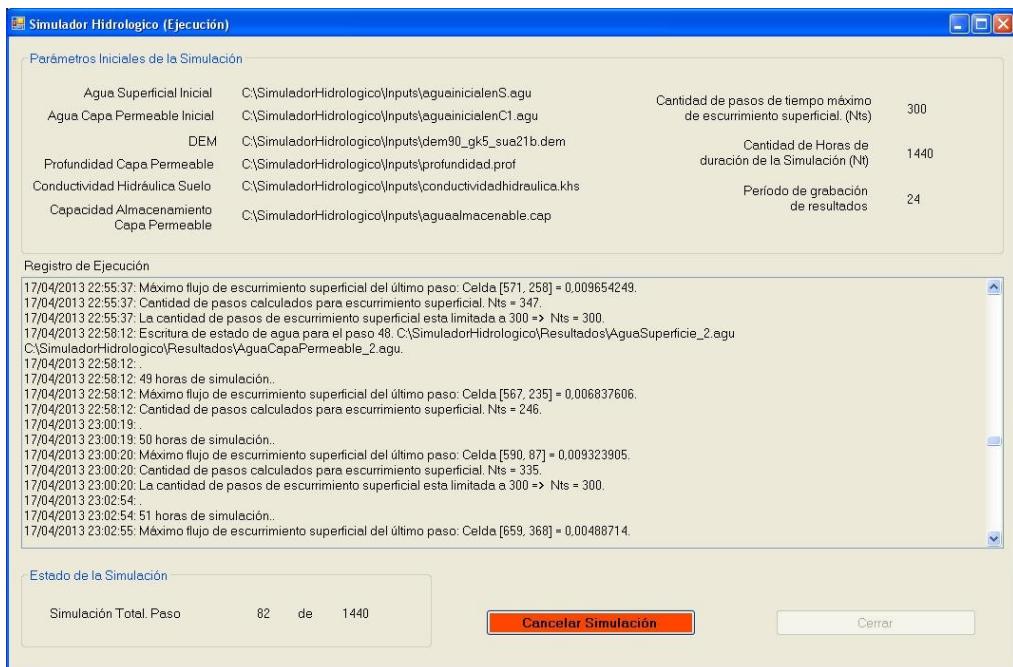


Figura 4.1.4.3 Ventana de ejecución – Se muestran datos de entrada elegidos para la simulación (Paso B.2)

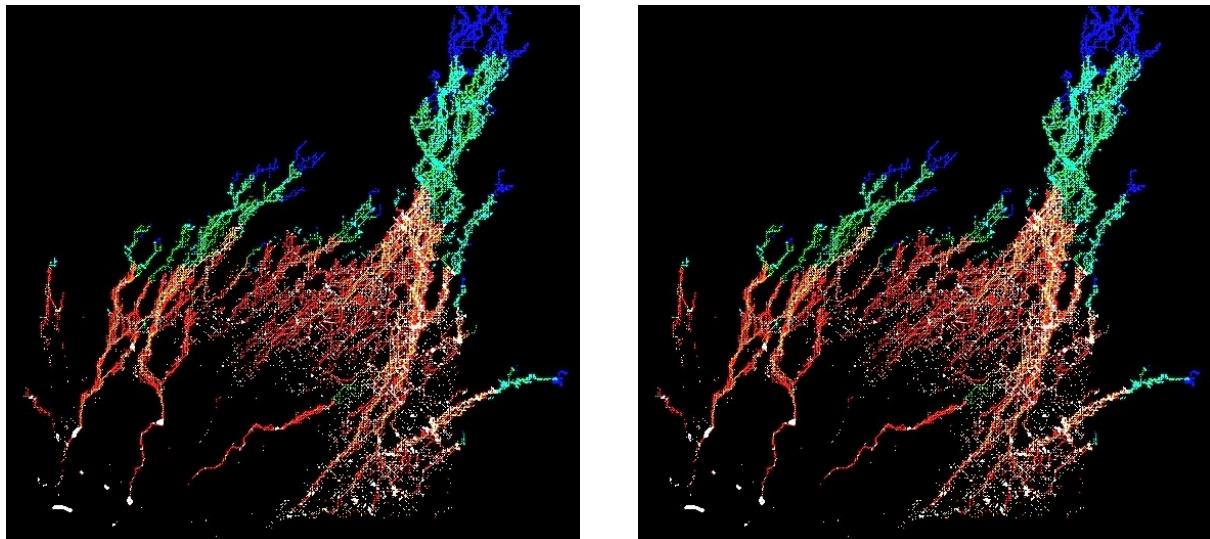


Figura 4.1.4.4 Estado del agua para 1 (rojo), 3 (verde) y 5 (azul) días de simulación – Se muestran que las imágenes generadas por el prototipo (derecha) y por la nueva implementación (izquierda) son iguales (Paso C.8)

4.2 Ejecución de la simulación con planchado e impresión de matriz de clusters- SYS-V-0002

4.2.1 Descripción del procedimiento

ID del Test	SYS-V-0002
Caso	Ejecución de la simulación con planchado e impresión de la matriz de clusters.
Descripción	En este caso de test se ejecuta la simulación con el proceso de planchado y

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

	con la escritura de la matriz de cluster cada vez que se graban los resultados, los datos de entrada que usa para la simulación son las provistas por defecto con la instalación, estos datos de entrada son los mismos utilizados por el prototipo del simulador.
Propósito del Test	El propósito del test es ejecutar la simulación con el proceso de planchado e impresión de matriz de clusters para así cada 1 hora, poder comparar las lagunas reflejadas por la matriz de clusters con los resultados obtenidos por el prototipo del simulador. Se verificará que las lagunas (clusters) observados se corresponden con las zonas que presentan estado de agua superficial cuadriculado, esto se debe a las oscilaciones tipo Tablero de Ajedrez. En el transcurso del test también se verifican otros requerimientos del simulador como escritura en archivo de registro, existencia de archivo de configuración, eficiencia del simulador.
Sub-caso de Test	N/A
Participantes	Desarrollador del simulador.
Criterio de éxito	Las lagunas que se muestran en la matriz de clusters para un paso de ejecución dado se corresponde con el efecto cuadriculado del estado de agua superficial de los resultados provistos por el prototipo del simulador. Se registra en archivo de texto en disco los eventos más importantes.
Duración	1 dia.
Conjunto de datos requerido	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de datos de entrada necesarios para la ejecución. Estos datos de entrada son los mismos que fueron usados para la ejecución de la simulación con el prototipo: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Modelo de elevación digital (DEM) ya preparado para la simulación. ◦ Profundidad de la primera capa del suelo, o suelo permeable. ◦ Coeficientes de conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento de la capa permeable. ◦ Altura de agua de la capa permeable. ◦ Pronóstico de precipitaciones, se usará como altura de agua en superficie • Conjunto de datos de salida generados por la ejecución de la simulación con el prototipo: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Altura de agua sobre la superficie. ◦ Altura de agua de la capa permeable <p>Este conjunto de datos representan los estados de agua superficial y de la capa permeable para x días de simulación, donde x es variable en los nombres de archivos provistos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ aguaenC1_[x] – (para el agua en la capa permeable) ▪ aguaenS_[x] - (para el agua en la superficie) <p>Estos resultados fueron generados cada 1 paso de tiempo (paso de tiempo en horas).</p>
Herramientas Requeridas	Envi 4.4. Editor de Texto.
Prerrequisitos	Los archivos que componen la unidad deben ser los que se proveen con la instalación de la unidad y en las carpetas que son ubicados por defecto.

Reportes de V&V del Software (SVVR)

4.2.2 Procedimiento SYS-V-0002

TEST PROCEDURE Test Id.: SYS-V-0002		Test Name: Ejecución de la simulación con planchado e impresión de matriz de clusters Test Sub-case: Asignación de valores a variables en archivo de configuración e inicio de la simulación – sin planchado.		
Step	Action Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Remarks
A	CHECKS: Configuración de la unidad e inicio de la simulación.			
A.1	Ubicarse en la carpeta de instalación de la unidad SimuladorHidrológico. Por defecto se instala en C:\SimuladorHidrológico	La carpeta de instalación existe.	La carpeta de instalación existe.	PASSED
A.2	Localizar el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" y abrirlo con un editor de texto.	El archivo mencionado existe.	El archivo mencionado existe.	PASSED
A.3	Abir el archivo "SimuladorHidrologico.exe.config" con un editor de texto plano.	El archivo es abierto correctamente con el editor de texto. Se muestra en formato XML.	Se observa el archivo en formato XML	PASSED
A.4	Asignar los siguientes valores a las variables de configuración y guardar el archivo de configuración. debugPlanchadoOption = true periodoGrabacionResult = 1	Los valores deben ser asignados y el archivo guardado.	Los valores son asignados y el archivo guardado.	PASSED
A.5	Iniciar el simulador hidrológico.	Se debe mostrar la ventana de configuración del simulador.	Se muestra la ventana de configuración del simulador.	PASSED
A.6	Tildar la opción "Escribir Matriz Clusters" ubicada en el lado superior derecho.	La opción es tildada. (Figura 4.2.2.1)	La opción es tildada. (Figura 4.2.2.1)	PASSED
A.7	Presionar el botón "Iniciar Simulación"	Se debe abrir la ventana de ejecución de la simulación.	Se abre la ventana de ejecución. Se muestran los datos de entrada usados para la simulación y el registro de eventos.	PASSED
A.8	Esperar hasta que transcurran al menos 10 pasos de ejecución. Esto se puede ver en la parte inferior izquierda de la ventana de ejecución.	Deben transcurrir 10 o más pasos de ejecución. El cuadro de texto de la parte inferior izquierda de la ventana informa el estado de la simulación.	Se cumplen pasos de ejecución informado por la ventana ejecución.	PASSED
A.9	Ubicarse en la carpeta de resultados de la simulación. El nombre de esta carpeta puede obtenerse de la ventana de registro de eventos, al momento de informar de una escritura en disco de un resultado.	El nombre de la carpeta debe aparecer en la ventana de registro de eventos, debe existir y tener resultados generados.	La carpeta existe y se observan archivos con extensión .agu y .clu	PASSED
B	CHECKS: Los clusters que muestran los archivos ".clu" se corresponden con zonas cuadriculadas de los resultados provistos generados por el prototipo. Detección de lagunas.			
B.1	Abrir la herramienta Envi 4.4	El programa se debe abrir correctamente.	Se abre el menu de opciones de Envi 4.4	PASSED
B.2	En el menú de opciones ir a File -> Open Image File	Se debe abrir un cuadro de diálogo de apertura de archivos llamado "Enter Data Filenames"	Se abre el cuadro de diálogo de apertura de archivos llamado "Enter Data Filenames"	PASSED

Author: Cristian Guerrero Córdova

Date: 19-04-2013

Version: 1.0

Reportes de V&V del Software (SVVR)

		Data Filenames"		
B.3	Buscar la carpeta de generación de resultados del simulador.	Se debe encontrar la carpeta con los resultados generados.	Se encuentra la carpeta con los resultados generados.	PASSED
B.4	Elegir los archivos MatrizClusters_1.clu AguaSuperficie_1.agu	Debe aparecer la ventana de información del header.	Aparece la ventana que pide información del header del archivo.	PASSED
B.5	Ingresar la siguiente información (propia de la configuración de la simulación con archivos provistos por instalación): Samples: 913 Lines: 584 Bands: 1 Data Type: Floating Point Y Presionar OK	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.	Los archivos son correctamente cargados, muestra la lista de bandas disponibles.	PASSED
B.6	Abrir de la misma manera (Pasos B.2-5) los archivos generados por el prototipo provistos para la ejecución del test: aguaenS_1	Los archivos deben ser correctamente cargados, debe aparecer la lista de archivos cargados.	Los archivos son correctamente cargados, muestra la lista de bandas disponibles.	PASSED
B.7	Abrir los archivos MatrizClusters_1.clu, AguaSuperficie_1.agu y aguaenS_1 en distintos Displays y escala de grises.	Se deben abrir 3 displays, en donde se haya cargado en cada uno un archivo distinto en escala de grises.	Se abren tres displays mostrando tres imágenes en escala de grises..	PASSED
B.8	Verificar que las zonas que aparecen en colores claros en la imagen MatrizClusters_1.clu se corresponde con zonas en donde se pueden observar imagen cuadriculada en aguaenS_1 y que en la misma zona en AguaSuperficie_1 no se muestra el efecto cuadriculado.	Zonas claras en MatrizClusters_1.clu se deben corresponder con zona cuadriculada en aguaenS_1. En la misma región en AguaSuperficie_1.agu no se observa cuadriculado.	Zonas claras en MatrizClusters_1.clu (Figura 4.2.2.3) se corresponden con zona cuadriculada en aguaenS_1 (Figura 4.2.2.2). En la misma región en AguaSuperficie_1.agu no se observa cuadriculado (Figura 4.2.2.4)	PASSED
C	CHECKS: Las actividades relevantes de ejecución se registran en un archivo de texto.			
C.1	Buscar en el archivo de configuración "SimuladorHidrologico.exe.config" el valor de la variable "carpetaArchivoLog"	Se debe observar el valor de la variable.	El valor de la variable es: C:\SimuladorHidrologico\Log	PASSED
C.2	Ir a la carpeta indicada por la variable carpetaArchivoLog en el archivo SimuladorHidrologico.exe.config y verificar que el archivo SimuladorHidrologico.log existe.	El archivo SimuladorHidrologico.log debe existir	El archivo SimuladorHidrologico.log existe.	PASSED
C.3	Abrir el archivo SimuladorHidrologico.log con un editor de texto y verificar que contiene el registro de las actividades con fecha y hora: <ul style="list-style-type: none"> • Inicio de la simulación • Cuenta de paso de tiempo global. • Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso, mostrando celda donde tuvo lugar. • Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial. • Límite de cantidad de pasos para escurrimiento superficial, solo si se excediera este límite. 	El archivo debe abrirse con el editor de texto y contener el registro de las actividades mencionadas.	El archivo es abierto correctamente y contiene el registro de las actividades mencionadas Figura 4.2.2.5	PASSED

Reportes de V&V del Software (SVVR)

	• Escritura de resultados			
D	CHECKS: El tiempo de la simulación con el simulador para 48 días de ejecución es mas eficiente que el tiempo de ejecución de la simulación con el prototipo.			
D.1	Abrir el archivo SimuladorHidrologico.log localizado en el paso C.2 con un editor de texto y tomar nota de los tiempos cada 6 días de simulación usando la información de registro de grabación de resultado.	El archivo debe abrirse con el editor de texto y se debe poder tomar nota de los tiempos cada 6 días de simulación	El archivo es abierto correctamente y se toma nota de los tiempos de simulación cada 6 días. Figura X	PASSED
D.2	Comparar los tiempos de distintos simuladores (el prototipo y la nueva versión).	La nueva versión del simulador debe ser más eficiente.	Los tiempos son comparados y la nueva versión del simulador es más eficiente.	PASSED
Date:	18.04.13	Test Responsible Signature: Cristian Guerrero Córdova		

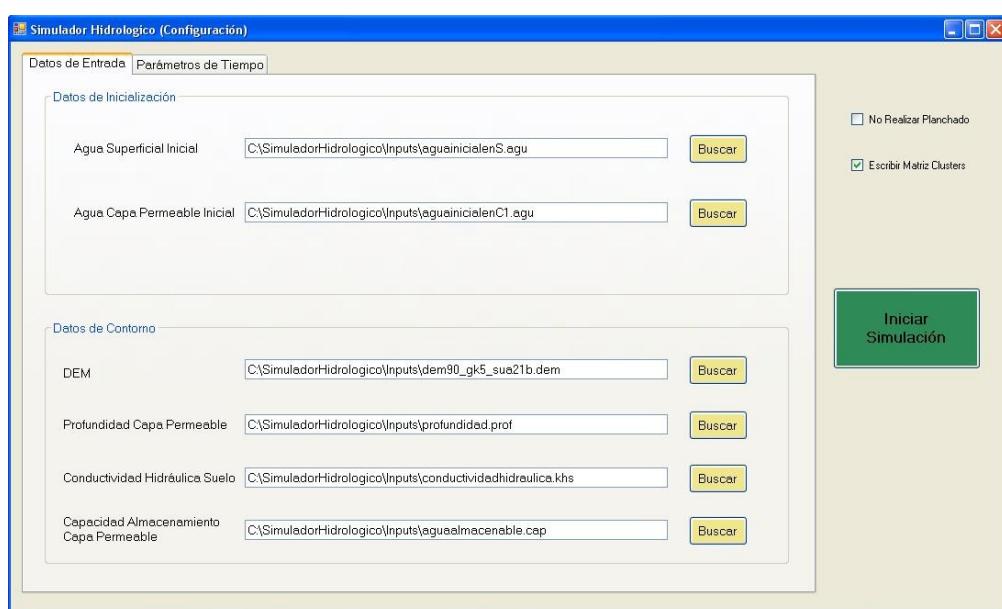


Figura 4.2.2.1 Ventana de configuración – Grabación de matriz de clusters (Paso A.6)

Reportes de V&V del Software (SVVR)

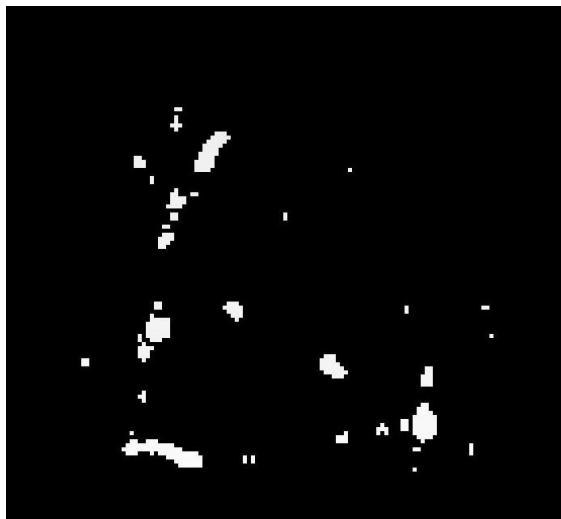


Figura 4.2.2.2 Estado de agua superficial luego de 1 hora de ejecución con presencia de cuadriculado que indica oscilaciones.

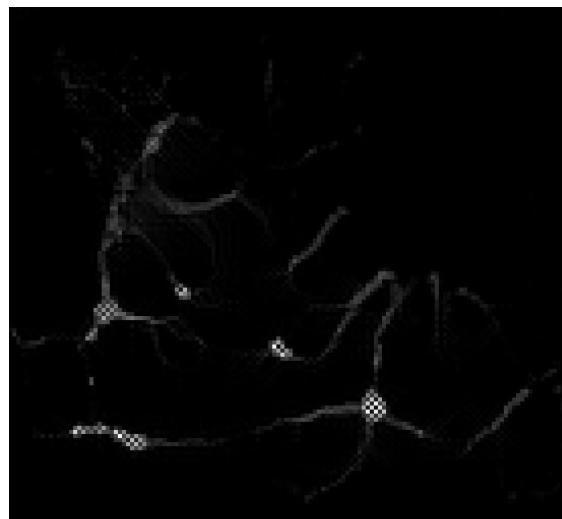


Figura 4.2.2.3 Clusters generados a partir de oscilaciones que determinan lagunas.

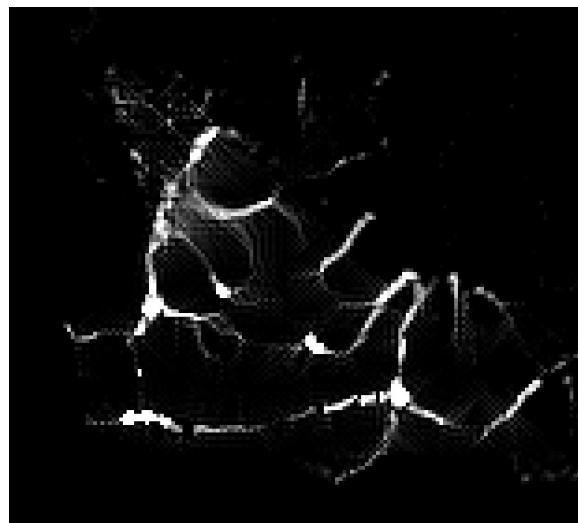


Figura 4.2.2.4 Estado de agua superficial luego del planchado sobre los clusters determinados. Se puede observar la ausencia del efecto cuadriculado

18/04/2013 19:35:26: Comienzo de Simulacion.
 18/04/2013 19:35:27: .
 18/04/2013 19:35:27: 1 horas de simulación..
 18/04/2013 19:35:27: Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso: Celda [245, 482] = 0,002849816.
 18/04/2013 19:35:27: Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial. Nts = 102.
 18/04/2013 19:36:29: Escritura de estado de agua para el paso 1. C:\SimuladorHidrologico\Resultados\AguaSuperficie_1.agu
 C:\SimuladorHidrologico\Resultados\AguaCapaPermeable_1.agu.
 18/04/2013 19:36:29: .
 18/04/2013 19:36:29: 2 horas de simulación..
 18/04/2013 19:36:30: Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso: Celda [212, 490] = 0,0348268.
 18/04/2013 19:36:30: Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial. Nts = 1253.
 18/04/2013 19:36:30: La cantidad de pasos de escurrimiento superficial esta limitada a 300 => Nts = 300.
 18/04/2013 19:39:15: Escritura de estado de agua para el paso 2. C:\SimuladorHidrologico\Resultados\AguaSuperficie_2.agu
 C:\SimuladorHidrologico\Resultados\AguaCapaPermeable_2.agu.
 18/04/2013 19:39:15: .
 18/04/2013 19:39:15: 3 horas de simulación..
 18/04/2013 19:39:15: Máximo flujo de escurrimiento superficial del último paso: Celda [302, 417] = 0,1545124.
 18/04/2013 19:39:15: Cantidad de pasos calculados para escurrimiento superficial. Nts = 5562.
 18/04/2013 19:39:15: La cantidad de pasos de escurrimiento superficial esta limitada a 300 => Nts = 300.
 18/04/2013 19:41:58: Escritura de estado de agua para el paso 3. C:\SimuladorHidrologico\Resultados\AguaSuperficie_3.agu
 C:\SimuladorHidrologico\Resultados\AguaCapaPermeable_3.agu.
 18/04/2013 19:41:58:

Figura 4.2.2.5 Extracto de archivo de registro de actividades – (Paso C.3)

Días de ejecución	Duración de la simulación entre dos períodos (Prototipo)	Duración de la simulación entre dos períodos (Nueva Versión Simulador)
1	1 hora 1 minuto	1 hora 1 minuto
6	4 horas 40 minutos	3 horas 30 minutos
12	5 horas 24 minutos	52 minutos
18	5 horas 42 minutos	14 minutos
24	5 horas 47 minutos	11 minutos
30	6 horas 17 minutos	6 minutos
36	6 horas 9 minutos	11 minutos
42	6 horas 12 minutos	3 minutos
48	6 horas 3 minutos	3 minutos
Duración total de la ejecución	47 horas 15 minutos	5 horas 41 minutos

Tabla 4.2.2.6 Comparación de los tiempos de ejecución entre el prototipo original y la nueva implementación del simulador.

5 Revisiones de Diseño

5.1 Flexibilidad a cambios del Simulador Hidrológico - SYS-V-0003

5.1.1 Análisis sobre la flexibilidad a cambios del Simulador Hidrológico SYS-V-0003

El siguiente texto justifica porque el diseño provisto para la arquitectura de software del simulador es modular facilitando así la mantenibilidad de la unidad.

Recordemos el diagrama de arquitectura Figura 5.1.1.1:

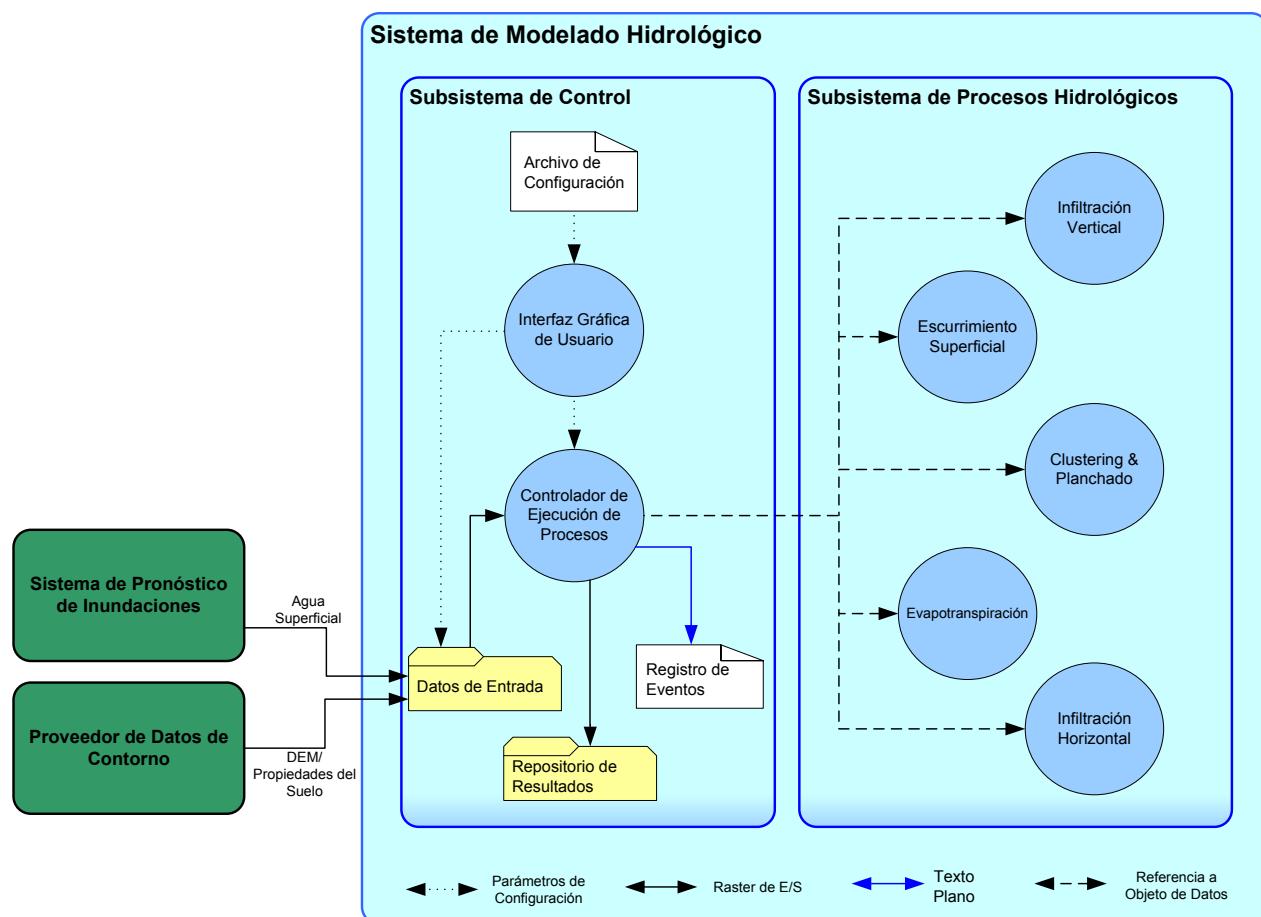


Figura 5.1.1.1 Diseño de Arquitectura del Simulador Hidrológico

La división en componentes de este diseño garantiza que las modificaciones que se hagan en cada componente no afecte al funcionamiento de simulador.

Las interfaces entre componentes están bien definidas ya que es a través de tipos abstractos de datos que ocultan la información de su implementación.

La división se pensó según las tareas específicas que llevan a cabo cada componente, esto permite identificar rápidamente que componente se debe modificar ante un eventual cambio:

Reportes de V&V del Software (SVVR)

- **Interfaz de Usuario:** Cualquier modificación que se requiera hacer en la interfaz gráfica con el usuario está limitada pura y exclusivamente a este componente ya que, además, es el encargado de leer el archivo de configuración
- **Control de Ejecucion de Procesos:** Determina que proceso hidrológico se ejecutará en cada momento y se encarga de la interacción entre los procesos, si fuera necesario. Por lo tanto, alguna modificación en el algoritmo global de ejecución, o incluso la inserción de algún proceso nuevo, requeriría solo modificar este componente.
- **Procesos Hidrológicos:** Son los componentes que se encuentran en el subsistema de Procesos Hidrológicos, cada componente representa solo un proceso hidrológico bien diferenciado. Por lo tanto en el caso que se necesitara alguna modificación o reemplazo se haría específicamente en el componente al cual afectara el cambio. Se deben respetar las interfaces que manejan, las cuales son objetos abstractos que no se representan en este diagrama.